



Universidad  
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Mecánica

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

**APLICACIÓN INFORMÁTICA DOCENTE  
SOBRE BANCO DE EJES FERROVIARIOS**

**Autor: DANIEL MONTORO GARCIA**

**Tutor: HIGINIO RUBIO ALONSO**

Leganés, Noviembre de 2012







Título: “Aplicación informática docente sobre banco de ejes ferroviarios”

Autor: Daniel Montoro García

Director: Higinio Rubio Alonso

EL TRIBUNAL

Presidente: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Secretario: \_\_\_\_\_

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día \_\_ de \_\_\_\_\_ del  
20\_\_ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid,  
acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE



## **Agradecimientos**

Mi más sincero agradecimiento a las personas, que incluso sin saberlo, me han apoyado hasta ver el final. La andadura ha sido intensa y difícil, pero el esfuerzo se ve recompensado al final, habiéndome dado la posibilidad de conocer a mucha gente durante ella: desde compañeros de clase hasta desconocidos de un foro de CAD que me ayudaron finalmente con el proyecto.

Evidentemente, agradecer lo primero a mi familia, por haberme dado la posibilidad de estudiar lo que he querido y apoyado en todo momento aconsejándome. Espero que se sientan orgullosos.

Sin olvidarme de mi tutor, Higinio, por su ayuda y dedicación en esas tardes de miércoles hasta más de las 9 de la noche.

A todos, muchísimas gracias.



## **Resumen**

Este proyecto de fin de carrera se centra en el estudio de los ejes de ferrocarril para con ello, implantar futuras mejoras novedades en estos sistemas. Se ha realizado un remodelado del banco de ensayos, perteneciente a la Universidad Carlos III, con la finalidad de utilizarlo como modelo virtual y poder trabajar con él en futuros proyectos.

Para dicho modelado, se ha utilizado el paquete de software CAD/CAM/CAE 3D paramétrico e integrado, llamado Pro-Engineer 5.0, en el que se realizó el modelado de todos los componentes del banco, animaciones y explosiones del conjunto.

A partir de este modelado, se ha creado una aplicación didáctica en PowerPoint destinada a instruir al futuro operario, ya sea estudiante o no, para completar los estudios objetos de la creación del banco. Este aprendizaje pretende tener una forma sencilla, para una comprensión clara y precisa de todo lo que concierne al banco.



## **Abstract**

This degree project has been focused in the study of railway axes and the possibility of implementing future improvements to these systems. A test bench test model belonging to The Carlos III University has been made which can ultimately be used as a virtual model and can be used in future projects.

For this model, a parametric and integrated CAD/CAM/CAE 3D software has been used, called Pro Engineer 5.0 where all the bench test components, animations and set explosions of the model were created.

A part from this model, a Powerpoint didactic application was created to instruct future operating users, whether used for a student or not, to complete the studies of the objectives created by the bench test. This operating manual has been created in a simple form to allow for clear comprehension and accuracy in all works concerned with the bench test.







# **ÍNDICE GENERAL**

## Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 ÁMBITO Y MOTIVACIÓN .....	3
1.2 OBJETIVOS.....	6
1.3 FASES DEL PROYECTO .....	7
1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO .....	8
<b>2. ESTADO DE LA TECNOLOGÍA DE ROLLER RIGS DE SISTEMAS DE RODAJE FERROVIARIO .....</b>	<b>11</b>
2.1 INTRODUCCIÓN .....	13
2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ROLLER RIGS .....	15
2.3 HISTORIA .....	15
2.4 ROLLER RIGS MAS DESTACADOS.....	18
2.5 ASPECTOS TEÓRICOS.....	32
2.5.1 IRREGULARIDADES EN PISTA .....	32
2.5.2 0GRADOS DE LIBERTAD .....	33
2.5.3 MOVIMIENTO DE KLINGEL.....	34
2.5.4 MÉTODO DE CÁLCULO DE LAS RELACIONES GEOMÉTRICAS ENTRE RUEDA-RODILLO .....	35
2.5.5 DIFERENCIA GEOMÉTRICA ENTRE CONTACTO RUEDA-RAIL Y RUEDA RODILLO .....	40
<b>3. EL BANCO DE ENSAYOS .....</b>	<b>41</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	43
3.2 CONDICIONES DE DISEÑO .....	46
3.3 DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS PRINCIPALES.....	46
3.3.1 SISTEMA DE PROTECCIÓN: CARCASA.....	48
3.3.2 SISTEMA DE SUSTENTACIÓN: BANCADA.....	57
3.3.3 SISTEMA DE ENSAYO: BANCO .....	61
3.4 DESCRIPCIÓN DE SUBSISTEMAS.....	77

3.4.1 SUBSISTEMA MOTOR .....	77
3.4.2 SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	89
3.4.3 SUBSISTEMA DE CARGA.....	94
3.4.4 SUBSISTEMA DE MEDIDA.....	96
<b>4. MODELADO DEL BANCO DE ENSAYOS .....</b>	<b>103</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	105
4.2 CARACTERÍSTICAS PRO-ENGINEER.....	105
4.2.1 MODELADO DE SÓLIDOS .....	108
4.2.2 ENTORNO PRO-ENGINEER .....	111
4.2.3 EJEMPLO DE MODELADO.....	115
4.3 ANIMACIÓN.....	118
4.4 MODELADO DEL BANCO.....	123
4.4.1 CONJUNTO COMPLETO DEL BANCO .....	123
4.4.2 MODELADO DE SISTEMAS PRINCIPALES.....	127
4.4.2.1 MODELADO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN.....	127
4.4.2.2 MODELADO DEL SISTEMA DE SUSTENTACIÓN.....	131
4.4.2.3 MODELADO DEL SISTEMA DE ENSAYO .....	134
4.4.3 MODELADO DE SUBSISTEMAS.....	138
4.4.3.1 MODELADO DEL SUBSISTEMA MOTOR .....	138
4.4.3.2 MODELADO DEL SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN .....	143
4.4.3.3 MODELADO DEL SUBSISTEMA DE CARGA.....	145
4.4.3.4 MODELADO DEL SUBSISTEMA DE MEDIDA .....	149
<b>5. APLICACIÓN DIDÁCTICA .....</b>	<b>151</b>
5.1 INTRODUCCIÓN .....	153
5.2 ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN.....	154
5.3 INTERFACE DE LA APLICACIÓN.....	160
5.4 APLICACIÓN COMPLETA .....	164



<b>6. PRESUPUESTOS</b> .....	165
<b>7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS</b> .....	171
7.1 CONCLUSIONES.....	172
7.2 TRABAJOS FUTUROS .....	173
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	175
<b>ANEXOS</b> .....	179
ANEXO A: PLANOS.....	179
ANEXO B: DIAPOSITIVAS.....	194

## Índice de figuras

Figura 1.1. Locomotora histórica situada en el patio del campus de Leganés de la UC3M .....	4
Figura 1.2. Prototipo de Bogie real.....	5
Figura 1.3. Modelado de un Wheelset .....	5
Figura 2.1. Roller rig a escala .....	13
Figura 2.2. Esquema de roller rig.....	14
Figura 2.3. Instalación de Great Western Ferrocarril.....	15
Figura 2.4. Deutsche Bahn en Munich .....	16
Figura 2.5. Roller rig de la Universidad de Torino .....	17
Figura 2.6. Roller Rig de China.....	18
Figura 2.7. Roller rig de Chengdu .....	19
Figura 2.8. Roller rig de Nápoles.....	20
Figura 2.9. Resumen de características del roller rig de Tokyo.....	21
Figura 2.10. Roller Rig de Tokyo .....	22
Figura 2.11. RDU de Pueblo .....	23
Figura 2.12. Vehículo ferroviario suspendido sobre el roller rig Deutsche Bahn.....	24
Figura 2.13. Modelado CAD del roller rig de wheelset DB .....	25
Figura 2.14. Resumen de características del roller rig de Seul .....	26
Figura 2.15. Roller rig de seul .....	27
Figura 2.16. Roller rig BU 300.....	28
Figura 2.17. Resumen de características de DTR-25.....	29
Figura 2.18. Banco de pruebas DTR-25.....	30
Figura 2.19. Torno de fosos .....	31
Figura 2.20. Instalaciones de Metro con torno de fosos .....	31
Figura 2.21. Irregularidades de pista.....	33
Figura 2.22. Grados de libertad del vehículo sobre la vía .....	33
Figura 2.23. Movimiento de Klingel .....	34
Figura 2.24. Modelo de relación geométrica rueda-rodillo.....	35
Figura 3.1. Vista general del banco de ensayo .....	43
Figura 3.2. Modelado de los sistemas: Carcasa- banco- Bancada.....	45
Figura 3.3. Imagen de marca Bosch Rexroth.....	47
Figura 3.4. Sistema de protección: carcasa .....	48

Figura 3.5. Variofix block .....	49
Figura 3.6. Montaje Variofix-block.....	49
Figura 3.7. Perfil 40x40.....	50
Figura 3.8. Dimensiones del perfil 40x40 .....	50
Figura 3.9. Unión con escuadra interior .....	51
Figura 3.10. Esquema de unión con escuadra interior .....	51
Figura 3.11. Detalle de tornillo con cabeza de martillo .....	52
Figura 3.12. Escuadra exterior .....	53
Figura 3.13. Detalle de montaje de escuadra exterior .....	53
Figura 3.14. Explosionado de bisagra.....	54
Figura 3.15. Esquema de puerta.....	54
Figura 3.16. Empalmador de apriete rápido .....	55
Figura 3.17. Esquema de montaje de empalmador de apriete rápido .....	55
Figura 3.18. Detalle de la cerradura.....	56
Figura 3.19. Sistema de sustentación: Bancada .....	57
Figura 3.20. Dimensiones del perfil 80x80L .....	58
Figura 3.21. Tornillos con cabeza de martillo .....	58
Figura 3.22. Patas con amortiguación.....	59
Figura 3.23. Detalle de pata con amortiguación .....	59
Figura 3.24. Tapas de los perfiles .....	60
Figura 3.25. Sistema de ensayo: Banco.....	61
Figura 3.26 Montaje de perfiles base .....	62
Figura 3.27. Perfiles de la base del banco .....	62
Figura 3.28. Detalle perfil 40x80 .....	63
Figura 3.29. Esquema de unión en T .....	63
Figura 3.30. Columnas del banco .....	64
Figura 3.31. Perfil de apriete con vástago guía de acero .....	64
Figura 3.32. Dimensiones del alzado del banco.....	65
Figura 3.33. Vigas transversales con soportes de rodillos .....	65
Figura 3.34. Esquema del empalmador de pernos.....	66
Figura 3.35. Guías lineales montadas.....	66
Figura 3.36. Uniones superiores del banco.....	67
Figura 3.37. Dimensiones del soporte de rodillos.....	68
Figura 3.38. Dimensiones de los rodillos.....	68

Figura 3.39. Esqueleto del banco .....	69
Figura 3.40. Foto del carrito con la guía lineal .....	70
Figura 3.41. Detalle del cojinete de sustentación .....	70
Figura 3.42. Dimensiones del carrito.....	71
Figura 3.43. Foto del pórtico .....	72
Figura 3.44. Plano del eje 1:4 .....	73
Figura 3.45. Esquema de las ruedas del wheelset.....	74
Figura 3.46. Esquema del wheelset entero .....	74
Figura 3.47. Dimensiones del soporte del eje .....	75
Figura 3.48. Wheelset soportado por rodillos y soportes.....	75
Figura 3.49. Explosionado del eje y sus soportes .....	76
Figura 3.50. Foto del motor apoyado .....	76
Figura 3.51. Esquema y partes principales de un motor .....	78
Figura 3.52. Detalle de la jaula de ardilla .....	79
Figura 3.53. Rotor devanado y estator.....	80
Figura 3.54. Motor elegido .....	81
Figura 3.55. Fotografía del motor elegido .....	82
Figura 3.56. Resumen de características del motor .....	82
Figura 3.57. Tabla de velocidades .....	83
Figura 3.58. Tabla de cargas .....	84
Figura 3.59. Variador de frecuencia elegido.....	84
Figura 3.60. Foto del variador de frecuencia.....	85
Figura 3.61. Detalle subestructura del variador.....	86
Figura 3.62. Dimensiones del variador de frecuencia.....	87
Figura 3.63. Teclado del variador de frecuencia .....	87
Figura 3.64. Instrucciones de funcionamiento del variador .....	88
Figura 3.65. Esquema de la correa .....	89
Figura 3.66. Dimensiones de la correa .....	90
Figura 3.67. Soporte de los rodillos.....	91
Figura 3.68. Soportes del eje .....	91
Figura 3.69. Tabla de soportes .....	92
Figura 3.70. Foto del contacto rueda- rodillos .....	93
Figura 3.71. Vista superior del banco.....	93
Figura 3.72. Foto de la célula de carga en el banco.....	94



Figura 3.73. Célula de carga.....	94
Figura 3.74. Visor de cargas.....	95
Figura 3.75 .Esquema de conexiones.....	296
Figura 3.76. Tabla de características del acelerómetro.....	297
Figura 3.77. Acelerómetro y sus dimensiones .....	298
Figura 3.78. Display y sus dimensiones.....	299
Figura 3.79. Resumen de características del display .....	299
Figura 3.80. Amplificador Nexus .....	100
Figura 3.81. Parte trasera del amplificador Nexus .....	100
Figura 3.82 Tarjeta de adquisición de datos .....	101
Figura 4.1. Pantalla de inicio Pro-Engineer .....	106
Figura 4.2. Ejemplo de algunas funciones Pro-Engineer.....	110
Figura 4.3. Ventana principal Pro-Engineer .....	111
Figura 4.4. Principales iconos de Pro-Engineer .....	113
Figura 4.5. Cuadro de diálogo “Nuevo” .....	114
Figura 4.6. Esbozo diente de la correa .....	116
Figura 4.7. Curva de trayectoria.....	116
Figura 4.8. Detalle de la ventana patrón .....	117
Figura 4.9. Correa terminada .....	117
Figura 4.10. Pestaña de aplicaciones .....	118
Figura 4.11. Entorno animación .....	119
Figura 4.12. Icono secuencia de marcos.....	119
Figura 4.16. Icono de Motor cinemático .....	121
Figura 4.17. Ventana de definición del motor cinemático .....	121
Figura 4.18. Línea de tiempos .....	122
Figura 4.19. Opciones de video .....	122
Figura 4.20. Modelado .del banco completo .....	123
Figura 4.21. Modelado del banco sin carcasa.....	124
Figura 4.22. Explosionado general.....	125
Figura 4.23. Modelado del wheelset a escala .....	125
Figura 4.24. Desarrollo de las vistas principales .....	126
Figura 4.25. Modelado del sistema de protección: carcasa.....	127
Figura 4.26. Explosionado de la bisagra de la puerta de la carcasa.....	128
Figura 4.27. Explosionado de la escuadra exterior .....	128

Figura 4.28. Detalle de la escuadra interior.....	129
Figura 4.29. Explosionado de la pata con amortiguación .....	129
Figura 4.30. Modelado del variofix block.....	130
Figura 4.31. Explosionado de la cerradura.....	130
Figura 4.32. Explosionado del sistema de sustentación: bancada .....	131
Figura 4.33. Explosionado de la unión viga-plancha .....	132
Figura 4.34. Explosionado de la unión pata bancada.....	132
Figura 4.35. Explosionado de la unión banco-bancada.....	133
Figura 4.36. Modelado del esqueleto del banco.....	134
Figura 4.37. Unión en T de las columnas del banco .....	135
Figura 4.38. Modelado del empalmador de pernos .....	135
Figura 4.39. Explosionado del montaje del carrito.....	136
Figura 4.40. Guías lineales con carritos.....	136
Figura 4.41. Detalle de unión con empalmador de pernos .....	137
Figura 4.42. Fotografía del motor.....	138
Figura 4.43. Modelado del motor .....	138
Figura 4.44. Explosionado de la unión bancada-apoyo motor.....	139
Figura 4.45 Explosionado motor-subestructura de apoyo .....	139
Figura 4.46. Explosionado de la subestructura de apoyo del motor .....	140
Figura 4.47. Fotografía del variador .....	141
Figura 4.48. Modelado del variador.....	141
Figura 4.49. Explosionado de la unión variador- placa soporte .....	141
Figura 4.50. Explosionado de la subestructura del variador .....	142
Figura 4.51. Esquema del subsistema transmisión .....	143
Figura 4.52. Fotografía del subsistema de transmisión .....	143
Figura 4.53. Modelado del subsistema de transmisión.....	143
Figura 4.54. Explosionado de los soportes de los rodillos .....	144
Figura 4.55. Modelado del subsistema de transmisión.....	144
Figura 4.56. Fotografía del pórtico .....	145
Figura 4.57. Modelado del pórtico.....	145
Figura 4.58. Explosionado del subsistema de carga .....	146
Figura 4.59. Explosionado pórtico .....	147
Figura 4.60. Detalle de la unión en T del pórtico .....	147
Figura 4.61. Conjunto del pórtico unido al carito .....	148



Figura 4.62. Fotografía del display .....	149
Figura 4.63. Modelado del display .....	149
Figura 4.64. Fotografía del acelerómetro .....	149
Figura 4.65. Modelado del acelerómetro.....	149
Figura 5.1. Esquema general de la aplicación.....	154
Figura 5.2. Esquema de la estructura jerárquica de la aplicación .....	156
Figura 5.3. Diapositiva principal de la subaplicación Introducción.....	156
Figura 5.4. Menú Sistemas de la subaplicación Descripción.....	157
Figura 5.5. Menú subsistemas de la subaplicación Descripción.....	158
Figura 5.6. Diapositiva Menú Vistas.....	158
Figura 5.7. Diapositiva de la subaplicación Animaciones .....	159
Figura 5.8. Pantalla de Bienvenida de la aplicación .....	160
Figura 5.9. Menú principal o pantalla de inicio de la aplicación .....	161
Figura 5.10. Menú lateral de la aplicación.....	162
Figura 5.11. Detalle categoría seleccionada y botón de Inicio.....	162
Figura 5.12. Botones anterior y posterior .....	163
Figura 5.13. Icono video .....	163
Figura 5.14. Botón de Inicio .....	163



## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**



### 1.1 ÁMBITO Y MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

En la actualidad, el ferrocarril es uno de los medios de transporte más importante y con mayor uso (tanto en transporte de mercancías como de personas), siendo así un elemento básico de comunicación territorial y de movilidad de los ciudadanos.

El amplio entramado de vías y raíles ocupa una gran extensión (en 2006 la longitud total en el mundo era de 1.370.782 km y 15.064 km en España), los cuales permiten conseguir una óptima comunicación entre distintos lugares alejados por miles de kilómetros.

En la Revolución Industrial, durante la primera mitad del siglo XIX, el ferrocarril gozó de su época de mayor esplendor ya que la red de carreteras de aquellos años no permitían un flujo cómodo y continuo de vehículos. Así, el ferrocarril (Figura 1.1) cobraba mucha ventaja ya que permitía el transporte de viajeros y mercancías a un bajo costo, de forma regular y segura.

Hoy en día, el ferrocarril sigue manteniéndose como uno de los medios de transporte de mayor uso y trascendencia. Las siguientes cifras avalan este hecho: En 2009 se transportaron casi un millón y medio (1.418.154) de toneladas de mercancía y se desplazaron más de seis millones y medio (6.598.797) de viajeros sólo en Europa. (Fuente EUROSTAT/INE).

Tiene ciertas ventajas respecto a otros medios, tales como el consumo de combustible por tonelada/kilómetro transportada. Gracias a esta ventaja este tipo de transporte respeta el medio ambiente mucho más en comparación con otros medios de transporte de similar capacidad.

La principal característica que distingue este medio de locomoción de otros, como los vehículos convencionales, es su particular medio de contacto con la vía: el contacto raíl-rueda entre materiales metálicos, a diferencia del contacto convencional entre goma y pavimento. La ventaja más significativa de este tipo de contacto es su bajo coeficiente de rodadura (mucho menor que el coeficiente de rodadura en carretera).

A pesar de ser un sector con una larga trayectoria y teniendo en cuenta el fuerte papel del ferrocarril (Figura 1.1) en la actualidad, nos motiva estudiar e investigar el comportamiento de los ejes ferroviarios “wheelset” teniendo como meta la mejora de su diseño con el fin de conseguir un ferrocarril más seguro, eficiente y rentable.



Figura 1.1. Locomotora histórica situada en el patio del campus de Leganés de la UC3M

El sistema que sirve de contacto entre el vagón y la vía es llamado tren de rodadura o “**bogie**” (Figura 1.2). Además de transmitir la carga vertical procedente del vagón al rail posee muchas más funciones como son:

- ☐ Sistema direccional del vagón.
- ☐ Sistema de suspensión.
- ☐ Vehículo transmisor de fuerzas de aceleración y frenado, etc.

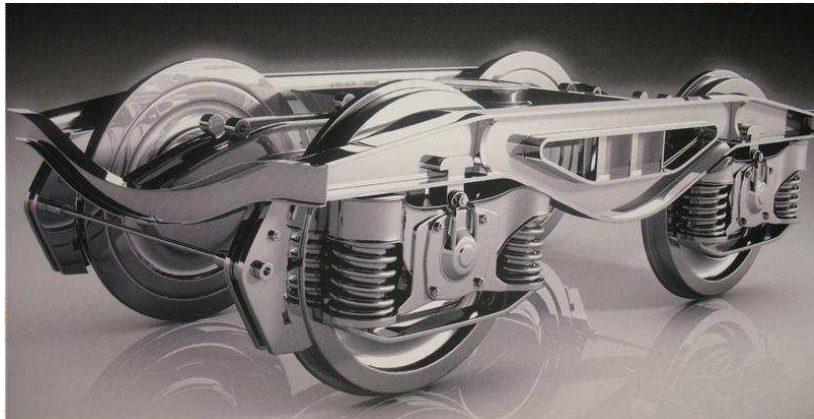


Figura 1.2. Prototipo de Bogie real

Como podemos observar, dentro del bogie encontramos el conjunto formado por el eje y la rueda, llamado **wheelset** o radstanz (Figura 1.3). En el eje se centran las fuerzas de apoyo y carga de todo el vehículo, es una pieza rodante que soporta el encastre de la rueda y sufre tensiones de todo tipo a lo largo de toda su longitud. Las ruedas constituyen la base fundamental de contacto con el raíl y se encuentran encastradas en dos secciones del eje.

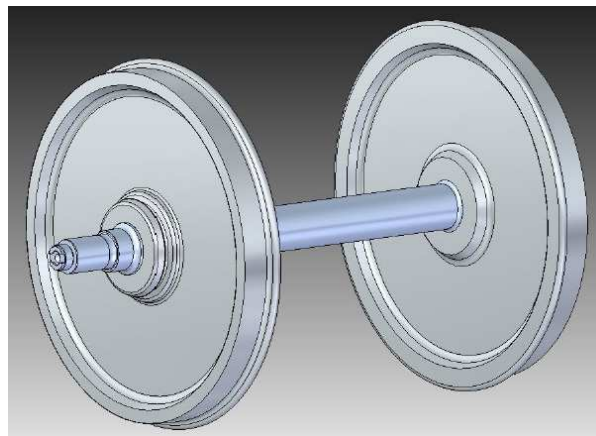


Figura 1.3. Modelado de un Wheelset

Este proyecto fin de carrera encuentra su motivación en el ambiente del ferrocarril, concretamente en el remodelado de un banco de ensayos para efectuar estudios del sistema de rodaje ferroviario.



## 1.2 OBJETIVOS

La finalidad de este proyecto es crear una aplicación didáctica relativa a un banco de ensayos de ejes de ferrocarril a escala y remodelar un diseño previo del mismo, desarrollado dentro del grupo de investigación Maqlab, del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid.

De forma más precisa, el objetivo principal que motiva este proyecto es:

“Diseñar una **aplicación didáctica** sobre soporte informático común, que pueda ser utilizada en la mayoría de los ordenadores de la universidad o computadores personales, con la finalidad de instruir de forma sencilla y completa, sobre todo lo que concierne a un banco de ensayos de ejes de ferrocarril a escala. La aplicación estará orientada tanto a la formación dirigida por un profesor, como a un soporte autodidacta”.

Para conseguir este objetivo principal se cumplirán ciertos objetivos secundarios, pero de similar importancia, para guiar satisfactoriamente el proyecto:

**1º Recopilación de información** sobre roller rigs de sistemas de rodaje ferroviarios, incluyendo una introducción histórica, descripción de distintos modelos y sus características.

**2º Descripción del Banco de ensayos**, del que se introducirá una enumeración detallada de sistemas y subsistemas con todos sus elementos y las funciones de cada uno de ellos. Una parte muy importante será el montaje del mismo.

**3º Remodelado del banco de ensayos**, de una forma realista, con un software CAD 3D, el programa Pro-Engineer Wildfire 5.0, que proporcionará un modelo virtual del mismo, que sirva como ilustración realista para la explicación visual de sus partes y funcionamiento.

**4º Generación de vídeos del montaje y funcionamiento del banco de ensayos**, realizadas con el programa anteriormente nombrado, con la finalidad de mejorar la comprensión de nuestro sistema y obtener resultados visuales mejores.

**5º Aplicación didáctica**, utilizando vídeos e imágenes creadas e importadas del programa Pro-Engineer, con el fin de instruir de una manera sencilla y rápida sobre el banco. La aplicación podrá ser utilizada de forma asistida o autodidacta.

### 1.3 FASES DEL PROYECTO

La semilla de este proyecto fue la realización de una tesis del grupo Maqlab realizada en el departamento de ingeniería mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid, en la cual se tiene como objetivo diseñar y construir un banco de ensayos para poder realizar caracterizaciones de wheelset en él. Este proyecto surge como función de apoyo a dicha tesis. Los pasos seguidos para el desarrollo del contenido son:

1. Para comenzar se realizó la medición de los principales parámetros geométricos del banco de ensayos.
2. Complementación del modelado del banco de ensayos mediante Pro-Engineer Wildfire 5, cuya licencia del programa me facilitó el departamento.
3. Generación de videos del banco de ensayo con el software proporcionado, buscando una imagen lo más realista posible, además de la realización de explosionados del conjunto.
4. Acopio de la información técnica de los elementos necesarios durante la fabricación del banco.
5. Clasificación y estudio de la información recopilada.
6. Planteamiento y estructura de la aplicación didáctica.
7. Elaboración de dicha aplicación.
8. Redacción de la memoria del proyecto.

## 1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

La memoria del proyecto está estructurada según en diferentes capítulos:

### ■CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Presentación de los objetivos, motivaciones y ámbito en las que incurre dicho proyecto, así como la estructura y fases en las que está desarrollado.

### ■CAPITULO 2: ESTADO DE LA TECNOLOGÍA DE ROLLER RIGS DE SISTEMAS DE RODAJE FERROVIARIO

Un breve resumen sobre la historia, desarrollo y actualidad de estos sistemas que tanta importancia tienen en el mundo ferroviario, además de una explicación más detallada de los ejemplos más destacados así como una introducción teórica.

### ■CAPÍTULO 3: EL BANCO DE ENSAYOS

Se aborda la descripción del banco de ensayos con precisión: elección de elementos, medidas y materiales, así como, la función de cada uno de ellos en nuestro banco de ensayo.

### ■CAPÍTULO 4: MODELADO CON PRO ENGINEER

Explicación del software utilizado para el modelado, con un breve resumen sobre el funcionamiento, opciones y habilidades del programa elegido, Pro-Engineer. También se muestra con detalle el modelado de cada subsistema y explosionados del banco para su mejor comprensión.

### ■CAPÍTULO 5: APLICACIÓN DIDÁCTICA

En este capítulo abarcaremos una explicación del funcionamiento y estructura de la aplicación didáctica, con el objetivo de facilitar el manejo del banco de ensayo al usuario de forma rápida e interactiva, mediante nuestra aplicación con un entorno muy visual.

### ■CAPÍTULO 6: PRESUPUESTOS

Explicación de los costes necesarios para llevar a cabo nuestro proyecto, teniendo en cuenta todos los elementos que lo componen y detallando su valor.

### ■CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

Se reflexiona sobre la ejecución correcta y exitosa del proyecto además de proponer diversas ideas para mejorar el banco de ensayos en un futuro.

### ■BIBLIOGRAFÍA

Listado de los documentos más relevantes utilizados para la realización de este proyecto tales como: páginas web, libros, tesis doctorales o manuales.

### ■ANEXOS

Se adjuntarán las diapositivas que componen la aplicación didáctica y diversos planos del banco de ensayos.





## **CAPITULO 2:**

# ESTADO DE LA TECNOLOGÍA DE ROLLER RIGS DE SISTEMAS DE RODAJE FERROVIARIO



## 2. ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA DE ROLLER RIGS DE SISTEMAS DE RODAJE FERROVIARIO

---

### 2.1 INTRODUCCIÓN

A grandes rasgos, un **roller rig** (Figura 2.1) es un banco de ensayos mecánico destinado a realizar distintas mediciones para caracterizar el comportamiento dinámico de un vehículo o sistema de éste. Evidentemente, de aquí en adelante, cuando mencionemos roller rig nos referimos a los destinados a operar con sistemas de rodaje ferroviarios, ya sea bogie, vagón completo o locomotora, a escala o real.

Teniendo en cuenta que el ciclo de desarrollo completo para un vehículo nuevo abarca mucho tiempo, desde diseño de prototipos, fabricación de tales, pruebas en las vías, acciones correctivas, puesta en marcha de la producción...es de vital importancia los ensayos en el banco, pues supone un ahorro de costes y tiempo. A grandes rasgos, para eso sirve el banco de ensayo.

El banco de ensayos que nos ocupa, es similar a un “roller rig” (plataforma de rodillos), con la diferencia de que este dispositivo opera con bogies y el nuestro con wheelset. Estos roller rigs podemos encontrarlos en plantas de inspección técnica ferroviaria, cuya función es probar un vehículo en condiciones de funcionamiento y así estudiar su comportamiento.

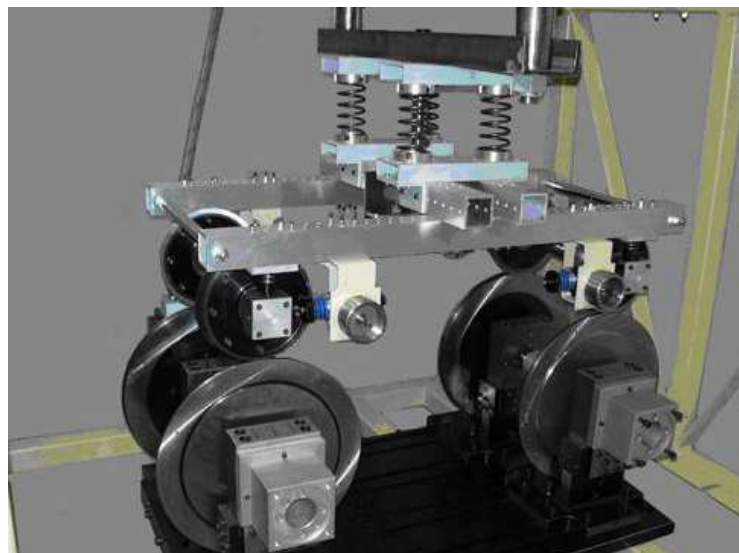


Figura 2.1 Roller rig a escala



En las últimas décadas, la producción de estos bancos de ensayos se ha extendido en proporción con el avance continuo del mundo ferroviario, aportando estudios dinámicos sobre el comportamiento de los distintos vehículos ensayados que ayudan al desarrollo (en distintos aspectos, como pueden ser seguridad, estabilidad, mejores prestaciones, capacidad de carga, etc ) de los trenes de alta velocidad.

Este dispositivo permite diversos estudios, como: estabilidad de vehículos, vibraciones sobre diferentes superficies, procesos de aceleración y frenado, diseños de rueda y raíles y el contacto entre estos....Con la principal ventaja de que los rodillos forman una pista infinita.

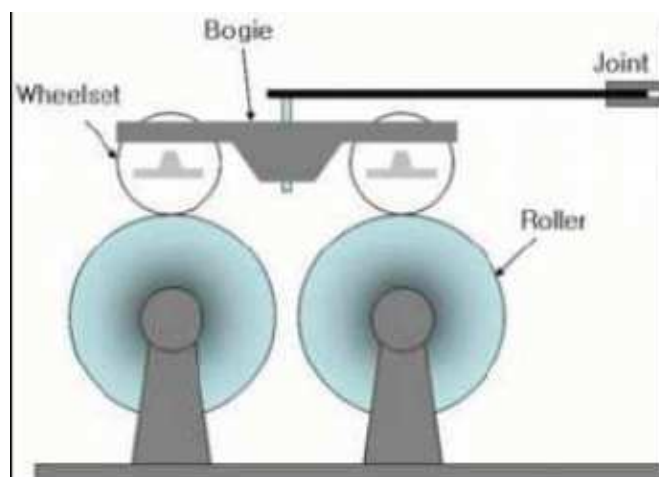


Figura 2.2. Esquema de roller rig o plataforma de rodillos

Estas plataformas de rodillos (Figura 2.2) son utilizadas por investigadores y organizaciones ferroviarias de todo el mundo realizando estudios y experimentos con el fin de conseguir ferrocarriles más rápidos, seguros y eficientes. La plataforma de rodillos ha influido en muchos modelos actuales de ferrocarril, mejorando su comportamiento. Así, han demostrado ser herramientas de gran utilidad, puesto que también nos permite probar nuevos diseños innovadores que mejorarán el futuro del ferrocarril.

### 2.2 CLASIFICACIÓN

En la clasificación de los roller rigs, existen 3 tipos:

- RTU: plataforma de rodillos pura con la función básica de simular con vehículos ferrocarriles sobre una línea recta. A este tipo pertenece nuestro proyecto.
- VTU: banco de pruebas que produce oscilaciones bajo cada rueda reproduciendo irregularidades de la pista, para el estudio de las vibraciones. No simula el contacto rueda-rail con rodadura.
- RTVU: Dispositivo resultado de la combinación de ambos anteriores, con sistema de rodadura y de vibraciones.

### 2.3 HISTORIA

Las plataformas de rodillos “roller rigs” se empezaron a utilizar hace 100 años para las locomotoras de vapor, por lo tanto eran a escala real. Una de las primeras instalaciones en construir este sistema fue la Great Western Ferrocarril (Figura 2.3) en la fábrica de Swindon (suroeste de Inglaterra) en 1904. Posee rodillos móviles para hacer coincidir los centros de la rueda y rodillo, alcanza altas velocidades y tiene un sistema de frenado para medir la tracción de la locomotora.

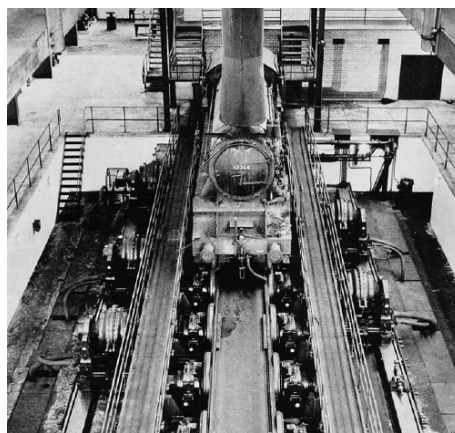


Figura 2.3. Instalación de Great Western Ferrocarril

En 1957, el Instituto de investigación ferroviaria de Japón construyó un equipo de rodillos a gran escala con dos ejes, utilizando un rodillo excéntrico para crear excitación sinusoidal.

Alrededor de 1960, se extendieron las pruebas de los bogies en estos bancos de ensayo, jugando un papel muy importante en los estudios relacionados con la protección del descarrilamiento del vagón y frenado regenerativo.

En esta época se construyen varios equipos, como:

- en 1964 en Francia, la compañía CAFL construyó una plataforma de rodillos con sistema de control hidráulico para movimientos verticales;
- en 1967, en Berlín, con la finalidad de mejorar frenos y suspensión;
- en 1977 en Munich, el roller rig *Deutsche Bahn* (Figura 2.4) con rodillos de 4 grados de libertad y una fuerte influencia en los trenes de alta velocidad;
- en 1978 en Pueblo, Colorado (USA), soportaba velocidades de hasta 480 km/h.



Figura 2.4. Deutsche Bahn en Munich

En 1995, en Chengdu (China), se construye un equipo de 4 ejes, ampliándolo a 6 ejes en 2002. Aquí cuentan con 4 plataformas de rodillos para vehículos enteros y 2 para pruebas de bogies.

En 1996, la Universidad Politécnica de Torino con la colaboración de MDI-Italia, comenzaron un proyecto de roller rig a escala 1:4 (Figura 2.5), la misma que el banco de ensayos objeto de este proyecto, con las posibilidades de aumento de carga en el eje y, aumento de velocidad y reducción de impacto sobre la infraestructura (desgaste del carril).

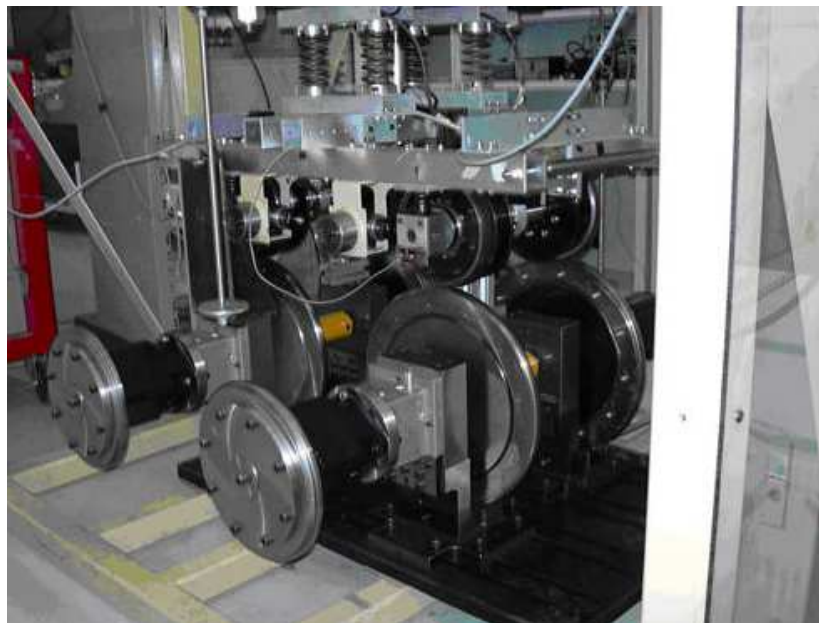


Figura 2.5. Roller rig de la Universidad de Torino

En 2002, el Laboratorio de Potencia de Tracción Nacional de China abrió una línea de investigación para modificar la norma de diseño, ya que el coeficiente de adherencia normalizado está estipulado para velocidades menores a 120 km/h y en la actualidad se superan. Para ello creó un roller rig (Figura 2.6) a escala real con las siguientes características: velocidades de hasta 280km/h, cargas por eje de hasta 135kn y distintas superficies de contacto (seco, agua y aceite).



Figura 2.6. Roller Rig de China

## 2.4 ROLLER RIGS MÁS DESTACADOS

Estos son algunos ejemplos de roller rigs hasta la actualidad, a continuación explicaremos con más detalle los más importantes:

■ **Roller rig de Chengdu** (China): China cuenta con más d 70 mil km de líneas ferroviarias, por lo que el desarrollo del ferrocarril tiene una gran importancia como demuestra su evolución: en la década de los 80 la velocidad de los trenes de pasajeros era de 50-70 km/h y en la década de los 90 140-160 km/h.

Este aumento notable de velocidad ha sido atribuido gran parte al uso de roller rigs en las instalaciones de ensayo. Actualmente en China cuentan con 6 plataformas de rodillos (Figura 2.7), pero la de Chengdu es única por tener rotación y vibración combinadas en el mismo sistema, cada rodillo se puede mover en dirección vertical y lateral independientemente.

Esta instalación a escala real fue llevada a cabo por el Laboratorio Estatal de Fuerza de Tracción (Southwest Jiaotong University), comenzando su desarrollo en 1989 y poniéndolo en servicio en 1995. Entre 1995 y 2005 fueron probados más de 50 vehículos. La plataforma original tenía 4 conjuntos de rodillos, viéndose mejorada en

2002 con 6 conjuntos de rodillos, que incluso permitían velocidades de rotación diferentes entre ellos.

Las principales características de este roller rig son las siguientes:

- Movimiento independiente de los rodillos en dirección Y para simular las irregularidades del calibre de la pista y la alineación lateral.
- Movimiento independiente de los rodillos en dirección Z para simular las irregularidades de la pista en nivelización transversal y el perfil vertical.
- Giro de los rodillos en el eje X para simular el ángulo de inclinación en curva.
- Rotación de dos rodillos a la misma velocidad alrededor del eje Y para simular la velocidad de avance sobre la vía y a distinta velocidad para la velocidad de paso por curva.
- Giro de los dos rodillos sobre el eje Z para simular la tangente en curva de la pista.



Figura 2.7. Roller rig de Chengdu



■ **Roller rig de Nápoles (Italia):** Se completó a finales de 1992 en el Centro de Investigación del Transporte Ansaldo. Este roller rig (Figura 2.8) posee un desarrollo para vehículos de 4 ejes pero con la posibilidad de futuras ampliaciones a 6 ejes.

Su función es probar la tracción de locomotoras de ferrocarril y sus rodillos sólo giran alrededor del eje X simulando la trayectoria recta. Permite probar vehículos con las siguientes características:

- Peso máximo del vehículo 100 T, 25 T por eje y una velocidad máxima 250km/h.
- Diámetro de rueda 500-1400 mm
- Máximo esfuerzo de tracción por eje 100 KN
- Rango de calibres disponibles 600-1700 mm
- Distancia entre ejes el bogie 1400-3500 mm
- Distancia entre bogies 5200-22000 mm
- Potencia máxima continua en el eje 1500 kw



Figura 2.8. Roller rig de Nápoles

■ **Roller rig de Tokyo:** Construido en 1957 por el Instituto de Investigación Técnica Ferroviaria, contribuyendo en gran medida a la investigación y desarrollo de los bogies de alta velocidad de Shinkansen, principalmente en cuanto a medidas contra el descarrilamiento de vagones de carga, frenado regenerativo y bogies sin refuerzos.

Esta instalación, después de 30 años se quedó obsoleta, con unos niveles de ruido y vibraciones en la zona que dificultaban su operación, por lo que en 1989 se renovó. Esta renovación implicó una velocidad de rotación de rodillo de hasta 500km/h y permitía inducir vibraciones utilizando actuadores. Las características más importantes de la planta se describen a continuación:

Gauge	1,000 ~ 1676 mm(variable)
Minimum wheelbase	1600 mm
Maximum test speed	500 km/h
Maximum axle load	200 kN
Diameter of roller	1500 mm
Lateral displacement	0 ~ 1 Hz Max. $\pm 30$ mm 3 Hz Max. $\pm 10$ mm 10 Hz Max. $\pm 2$ mm Maximum acceleration 10 m/sec <sup>2</sup>
Vertical displacement	0 ~ 1.8 Hz Max. $\pm 12$ mm 25 Hz Max. $\pm 0.4$ mm Maximum acceleration 10 m/sec <sup>2</sup>
Rolling displacement	0 ~ 2 Hz Max. $\pm 0.011$ rad 15 Hz Max. $\pm 0.0006$ rad Maximum acceleration 5 rad/sec <sup>2</sup>

Figura 2.9. Resumen de características del roller rig de Tokyo

Las principales novedades de esta planta (Figura 2.10) fueron los rodillos sobre los que se prueba el bogie, lo cojinetes y acoplamientos hidrostáticos, actuadores para vibraciones laterales y base móvil. Tres rodillos están montados en cada eje, fijándose al ancho internacional (1435mm) y de vía estrecha (1067), pero si necesitamos otra medida se puede ajustar la posición de un rodillo. La distancia entre ejes requerida se puede conseguir mediante la base móvil.



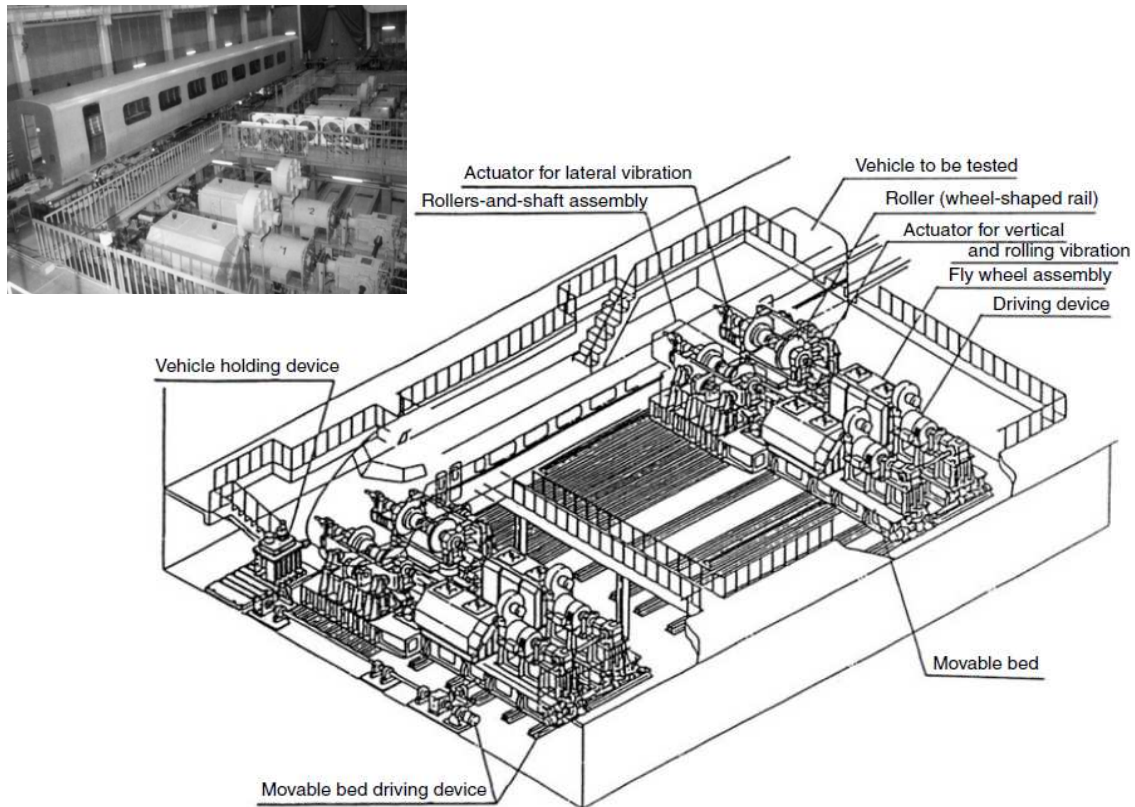


Figura 2.10. Roller Rig de Tokyo

■ **Roller rig de Pueblo:** Denominado “ Unidad de rodillo dinámico” RDU (Figura 2.11) y creado por el Laboratorio de Dinámica en Rail en Colorado (USA) en 1978, estaba patrocinado por la Administración Federal de Ferrocarriles del Departamento de Estados Unidos, con la finalidad de construir una poderosa herramienta de pruebas para investigar una amplia gama de problemas ferroviarios dinámicos.

Permite una velocidad máxima de 230 km/h con elementos modulares que pueden ser posicionados para igualar el espacio entre varios bogies diferentes, distancia entre ejes y anchos de vía distintos.

Cada rueda de vehículo se sostiene en un rodillo soporte y es accionada por éste, cada par de rodillos, montados en un eje común, está unido a un tren de transmisión que proporciona la inercia. Así, permite la simulación en vía recta sin irregularidades laterales o verticales y la simulación sobre geometría curva plana.

Posee unos volantes de inercia que simulan las fuerzas resistivas asociadas a la aceleración de frenado del vehículo. Se puede probar vehículos de 4 ejes, bogies de locomotoras e incluso locomotoras de 6 u 8 ejes con el uso de los soportes de apoyo auxiliares. Mediante unos actuadores hidráulicos se pueden aplicar fuerzas laterales, constantes o vibratorias, al bastidor de un bogie.

Todas estas pruebas producen unas respuestas del vehículo a la excitación provocada, las cuales se procesan y se registran en un sistema de adquisición de datos para estudiarlos.



Figura 2.11.RDU de Pueblo.

■ **Roller rig de Munich, Deutsche Bahn:** Creado en 1977 por la empresa Deutsche Bahn AG. Este roller rig (Figura 2.12) es capaz de simular un vehículo ferroviario completo o un bogie. Cada juego de ruedas del vehículo de prueba se hace descender sobre un par de discos que serán accionados individualmente, dando la posibilidad de variar el peralte. El ancho de vía y distancia entre ejes del bogie es ajustable. Un sistema de actuadores puede proporcionar alteraciones controladas a cada uno de los discos. La superficie de rodadura se puede desplazar verticalmente, lateralmente y en rotación al inclinar los rodillos hacia un lado para simular raíles retorcidos.



Figura 2.12. Vehículo ferroviario suspendido sobre el roller rig Deutsche Bahn

El equipo está configurado para permitir que el vehículo responda libremente igual que lo haría cuando está en pista.

Esta empresa también posee un roller rig para wheelsets (Figura 2.13), el cual se ha utilizado mucho en investigaciones sobre fatiga durante la rodadura en ejes de ferrocarril a escala real. Ofrece un alto grado de control y reproduce unas condiciones muy similares a las reales para el binomio rueda-rail. Sus discos de 2,1m de diámetro permiten alcanzar 300km/h y sus 6 actuadores hidráulicos aplican cargas de 170 kN. Posee características adicionales como cámaras e instalaciones para introducir lubricantes modificadores de fricción según la región de contacto.

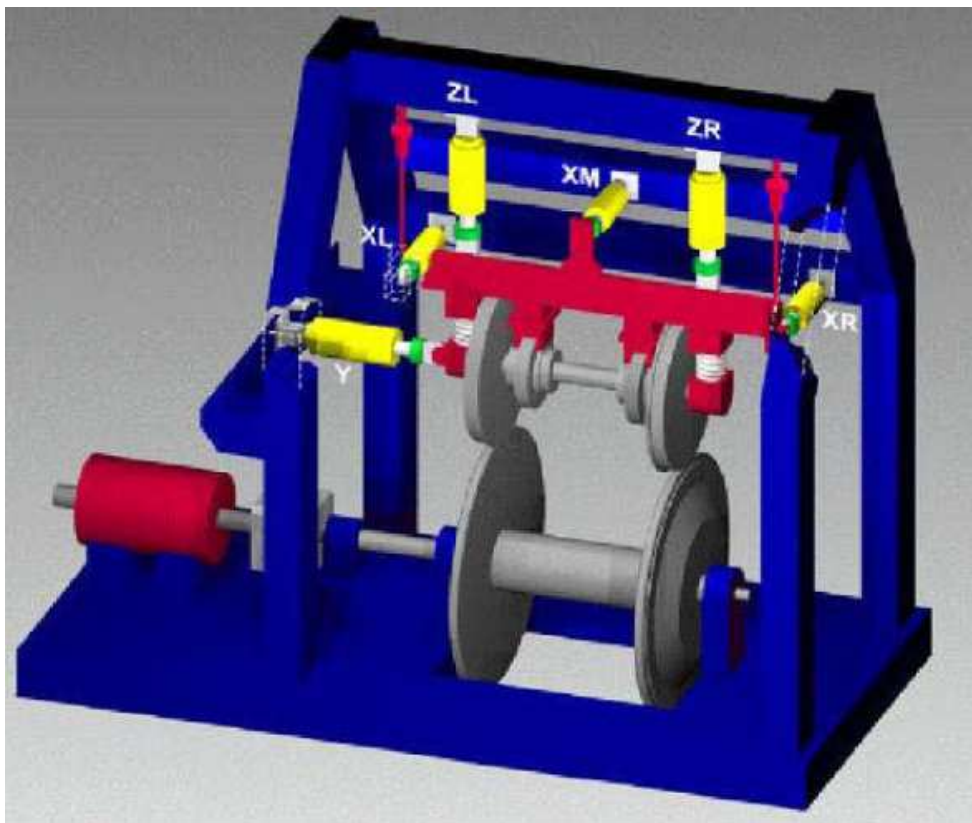


Figura 2.13. Modelado CAD del roller rig de wheelset DB



■ **Roller rig de Seul:** Desarrollado por la Universidad de Ciencia y Tecnología de Seul (Corea) e instalado en el Centro de Investigación Nacional en 2011. Este sistema opera con bogies a escala 1/5. Sus características son las siguientes:

Description		Specification
Base frame		- Material : 100 mm × 100 mm steel pipe welding frame
		- Dimension : 1120 mm × 1120 mm
Main Motor		- Finishing work : Painting after sanding
		- Color: White
Cant adjusting equipment		- Motor type : AC motor
		- Power : 220 V 3P
Attacking angle adjusting equipment		- Control : controls by main control software
		- Spindle with powerful hardness included
Hydraulic generating equipment		- Velocity range : 0 ~ 1150 rpm
		- Hour meter included
Cooling system		- Range : 0 ~ 160 mm (scaled)
		- Figure : Shape of screw or the one that is equivalent to it
Safety equipment		- Range : $-3^{\circ} \sim +3^{\circ}$
		- Figure : Shape of screw or the one that is equivalent to it
Mechanical		- Soundproof insulation and cover : below 70 dB
		- Stainless Steel material
Electrical		- Motor : 6 poles. Voltage : 380 or 220 Volts, 60 Hz, 3 Phase
		- Plate type heat exchanger (Stainless Steel for anti corrosion)
Safety equipment		- On/Off pressure control
		- Cooling water Flow control by utilizing automatic control valve
Safety equipment		- Embedded Filtering equipment below 3 micron
		- Monitoring & Alarm system (Force, Oil, Temperature, Filter, Pressure)
Safety equipment		- Automatic locking devise to limit the oil temperature
		- Reset, Remote, Power meter function
Safety equipment		- Independent performance.
		- Cooling type
Safety equipment		- Power source : 380 or 220 V, 3P
		- Distance between main frame and cooling fan : max 20 m
Safety equipment		- Antifreezing liquid.
		- Cooling fan.
Safety equipment		- Safety Surveillance devise for both equipment and operator.
		- System that notifies operator of abnormality of equipment.
Safety equipment		- EMG that stops equipment instantly in case of emergency.
		- Devise that controls Temperature overheating.
Safety equipment		- Blinker light (with Alarm function)

Figura 2.14. Resumen de características del roller rig de Seul

Este dispositivo (Figura 2.15) ha sido diseñado siguiendo los principios de Iwnicki, una de las referencias más importantes en el presente proyecto, en la siguiente figura podemos observarlo:

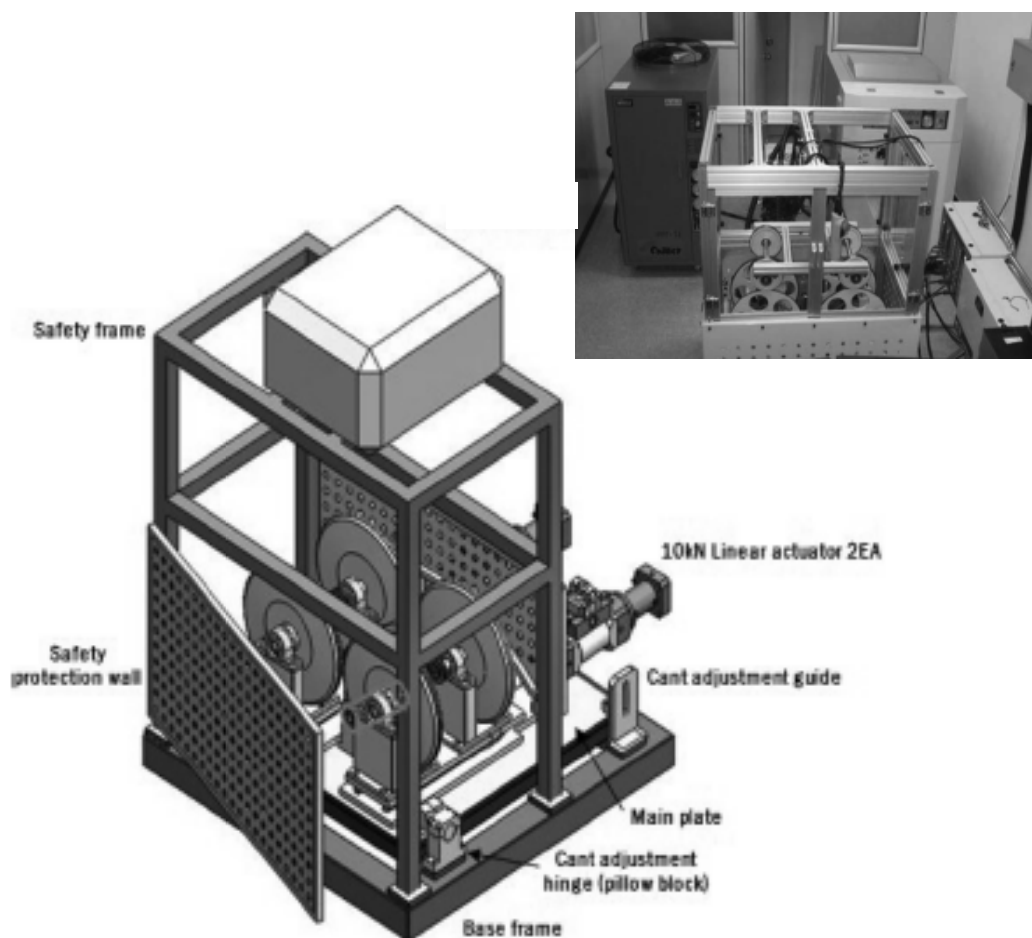


Figura 2.15. Roller rig de Seul

■ **Roller rig BU 300:** Proyecto denominado Hiperwheel y desarrollado en Italia, resultado de una cooperación entre Lucchini CRS y la Politécnica de Milán en 2002. Este roller rig (Figura 2.16) posee las posibilidades de estudiar el comportamiento de un vehículo a escala 1:1 en línea recta y curva.

Posee dos actuadores hidráulicos colocados verticalmente sobre la viga transversal: uno impone la fuerza vertical sobre la rueda y el otro aplica una fuerza lateral con un máximo de 150 kN sobre la viga.

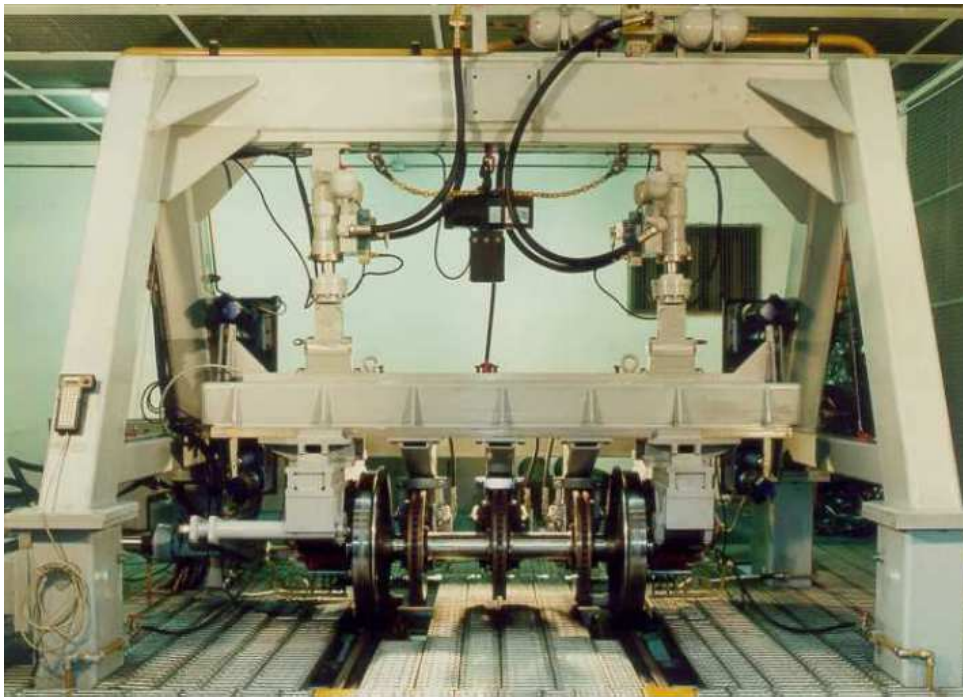


Figura 2.16. Roller rig BU 300

■ **Banco de pruebas dinámico de bogies DTR-25:** Presentado en Berlín, en la pasada feria INNOTRANS de Septiembre de 2012, ha sido creado por el grupo Dano-rail (cooperativa de Danobat) con la especial colaboración de SKF.

Este dispositivo, con el tren inmovilizado en el taller, simula su marcha del tren en vía a velocidades de superiores a 100 km/h, evitando así realizar mediciones con el tren circulando por la vía. Proporciona así, un ahorro de tiempo considerable y la posibilidad de diagnosticar el estado de componentes optimizando el mantenimiento del tren. Sus características son:

ITEM	Unidades	DTR-25
<b>CAPACIDADES</b>		
Dimensiones Máquina Longitud x Anchura x Altura (dependiendo de la configuración)	mm	7500 x 4000 x 2000
Dimensiones máximas bogie . Longitud x Anchura x Altura	mm	5000 x 3000 x 1200
Peso máximo eje (en configuración estándar)	Tn	25
Número ejes		2
Empate ejes	mm	1600 - 3300
Ancho vía	mm	1000 - 1435 - 1668
Carga aplicable al bogie (opcional en caso de ensayo bajo carga)	kN	2 x 300
Velocidad giro grupos tracción	Km/h	0 - 100
Potencia grupos tracción rodillos	kW	4 x 22
Número canales simultáneos ensayos dinámicos		16
Frecuencia adquisición ensayos dinámicos	KHz	20
Recogida de datos y análisis		SKF – IMx personalizado

Figura 2.17. Resumen de características de DTR-25



El sistema de adquisición de datos viene integrado en el Banco de Pruebas Dinámico de Bogies (Figura 2.18) y es configurable de forma que permite modificar las medidas de las variables que el usuario considere más interesantes aunque tiene una ejecución estándar que adquiere los valores de los componentes más comunes.

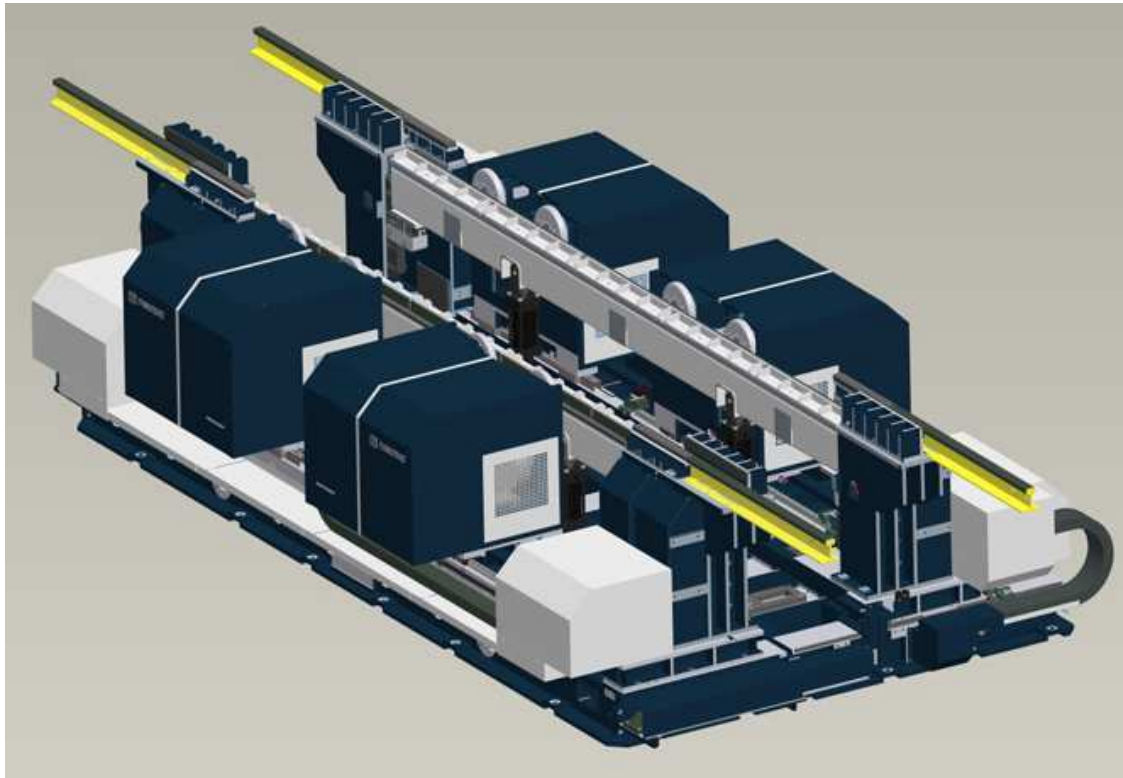


Figura 2.18. Banco de pruebas DTR-25

Hay que mencionar que el grupo DANOBAT también cuenta con un modelo de Torno de Fosos (Figura 2.19) que realiza operaciones específicas para el mantenimiento correctivo de rodaduras y discos de freno ferroviarios sin necesidad de desmontar los ejes del tren, concebido para regenerar los perfiles de las ruedas sometidas a desgaste y deformación que impone la circulación rueda-rail.



Figura 2.19. Torno de fosos

Varios tornos de fosos son utilizados en las instalaciones del Metro (Figura 2.20) para garantizar la seguridad de los madrileños que a diario utilizan este medio de transporte, realizando el mantenimiento de los vehículos por la noche cuando las estaciones cierran.



Figura 2.20. Instalaciones de Metro con torno de fosos

### 2.5 ASPECTOS TEÓRICOS DE ROLLER RIGS

Los aspectos más importantes en el mundo de los vehículos férreos son: la seguridad y el confort de los pasajeros, la eficiencia en la prestación del servicio de transporte, los costes de operación y de mantenimiento por desgaste de los elementos. Todos ellos están relacionados directamente con la dinámica del binomio vía-vehículo.

Como la mayoría de los demás sistemas de transporte, los vehículos ferrocarriles han experimentado mejoras en diseño y construcción con la finalidad de que alcancen velocidades cada vez más altas, provocando un comportamiento dinámico y una interacción rueda-raíl más crítica, por lo que este hecho implica la necesidad del conocimiento de los parámetros de operación del sistema, de forma que permita asegurar un funcionamiento óptimo.

Con la medición de los perfiles de las ruedas y raíles se obtiene información útil para crear un sistema de control del desgaste del conjunto rueda-raíl, si incluimos la conicidad equivalente mejoraremos esta información consiguiendo un estudio más exacto y confiable. En el caso de nuestro banco, ensayaremos con ruedas planas sin conicidad.

#### 2.5.1 IRREGULARIDADES EN PISTA

Para comenzar, hay que tener en cuenta que las irregularidades en pista pueden ser debidas a 4 factores principales: calibre, nivel transversal, alineación lateral y perfil vertical. Si las perturbaciones verticales y laterales del carril derecho e izquierdo vienen indicadas por  $Z_L$ ,  $Y_L$ ,  $Z_R$ ,  $Y_R$ :

$$\text{Gauge} = (y_L - y_R)/2$$

$$\text{Lateral alignment} = (y_L + y_R)/2$$

$$\text{Cross level} = (z_L - z_R)/2$$

$$\text{Vertical profile} = (z_L + z_R)/2$$

Hasta la fecha no hay ningún equipo capaz de simular irregularidades en vía y paso por curva a la vez. En la siguiente imagen observamos como usar los rodillos para simular los 4 factores:

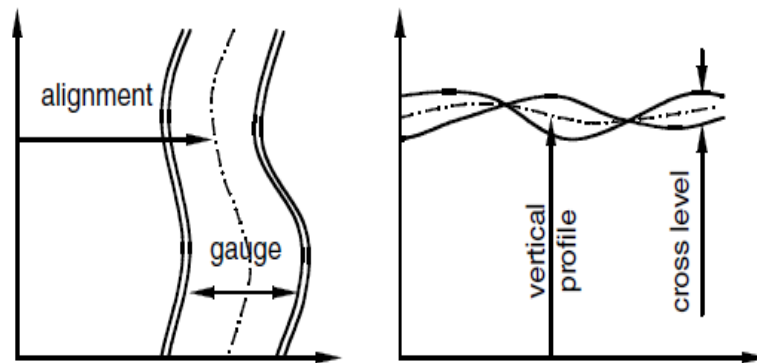


Figura 2.21. Irregularidades de pista

### 2.5.2 GRADOS DE LIBERTAD

Cuando un tren se desplaza sobre la vía, sufre diferentes desplazamientos y rotaciones relacionados con el siguiente sistema de coordenadas (Figura 2.22):

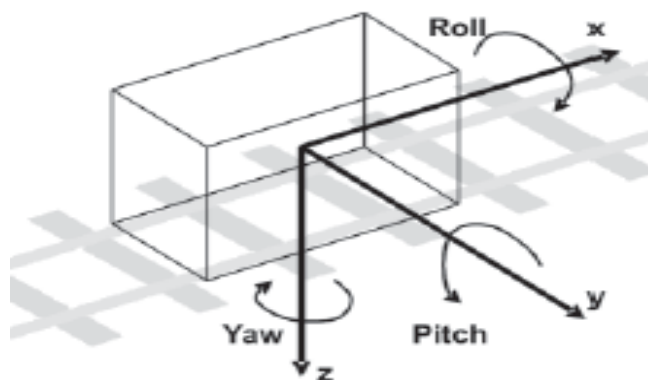


Figura 2.22. Grados de libertad del vehículo sobre la vía

El desplazamiento longitudinal es descrito por el eje x, considerándolo positivo en la dirección del desplazamiento frontal. El desplazamiento lateral lo describe el eje y, se considera positivo en desplazamiento hacia la derecha.

El desplazamiento vertical es descrito por el eje z, se considera positivo hacia abajo. Las rotaciones son consideradas positivas en el sentido contrario al de las manecillas del reloj y son descritas de la siguiente forma: la rotación sobre el eje x, es conocida como “roll”, sobre el eje y como “pitch” y sobre el eje z como “yaw”.

Concretamente, en nuestro banco, anulamos un grado de libertad, ya que en vez de operar con un rodillo por cada rueda, operamos con 2.

### 2.5.3 MOVIMIENTO DE KLINGEL

Sobre una vía recta, el vehículo con ruedas cónicas se desplaza siguiendo una trayectoria en forma de onda, este movimiento se conoce como “movimiento de Klingel” (Figura 2.23) y se genera cuando el vehículo se desplaza lateralmente, producido por la diferencia de radios de rodadura.

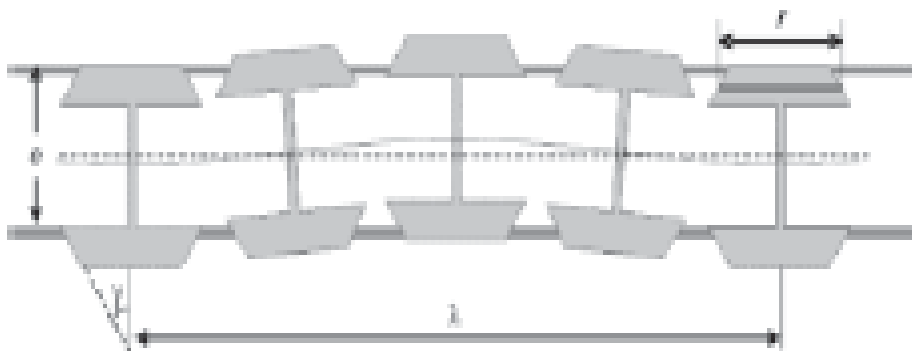


Figura 2.23. Movimiento de Klingel

Es un movimiento cinemático puro con desplazamiento lateral armónico, en función del desplazamiento frontal y presente cuando no existe contacto entre las pestañas de las ruedas y la vía.

## 2.5.4 MÉTODO DE CÁLCULO DE LAS RELACIONES GEOMÉTRICAS ENTRE RUEDA-RODILLO

Para el análisis teórico de la dinámica del vehículo ferrocarril, es fundamental la determinación de la relación geométrica “rueda-raíl”. La principal diferencia entre un vehículo que circula sobre pista y otro sobre una plataforma de rodillos es el contacto rueda-rodillo y rueda-raíl. Con esto, para comprender el comportamiento de un vehículo ferrocarril sobre una plataforma de rodillos, existe un método numérico: “método de la línea trazada”.

Debido a la simetría del wheelset, consideraremos media estructura. El análisis del modelo es el mostrado en la siguiente figura:

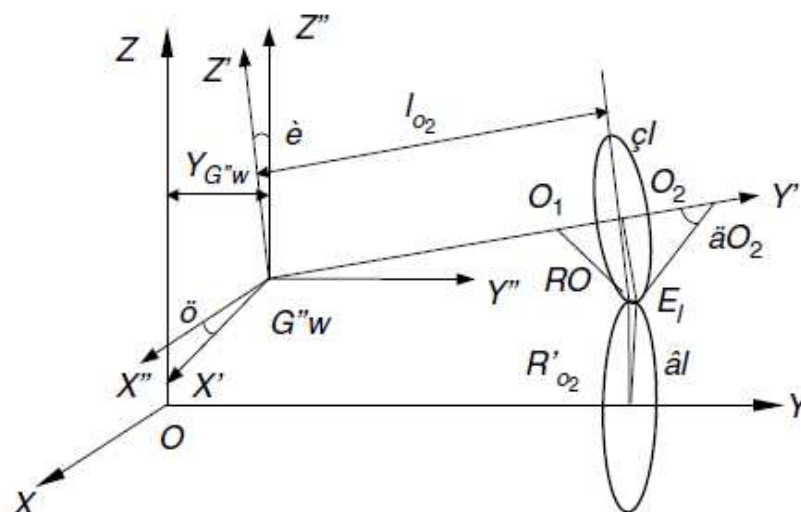


Figura 2.24. Modelo de relación geométrica rueda-rodillo

OXYZ es el eje de coordenadas absoluto para el rodillo,

$G''wX''Y''Z''$  son las coordenadas del wheelset,

$G''wX'Y'Z'$  la coordenada fija del wheelset,

$\varphi$  y  $\theta$  son los ángulos “yaw” y “roll” respecto a  $G''wX''Y''Z''$

El término  $Y''Gw$  es el desplazamiento lateral wheelset. Según principio de coseno direccional, la línea de eje  $G''wY$  en las coordenadas del wheelset  $G''wX''Y''Z''$ :

$$L_x = -\cos \theta \sin \varphi; \quad L_y = \cos \theta \cos \varphi; \quad L_z = \sin \theta$$

En la figura:

$E_l$  es el punto de contacto,

$\delta_{O_2}$  es el ángulo de contacto,

$\eta_l$  es el círculo de contacto en la rueda,

$O_2$  es el centro del círculo de contacto,

$R_{O_2}$  es el radio del círculo de contacto,

$l_{O_2}$  es la distancia desde el círculo de contacto al centro del wheelset.

La línea normal desde el punto de contacto  $E_l$  corta la línea del eje del wheelset  $G''wY$  en el punto  $O_l$ . Las distancias entre  $O_l$  y  $O_2$  y  $O_l$  y  $E_l$ :

$$O_l O_2 = H = R_{O_2} \operatorname{tg} \delta_{O_2}$$

$$O_l E_l = \frac{R_{O_2}}{\cos \delta_{O_2}} \quad (2.1)$$

Las coordenadas de  $O_l$  y  $O_2$  en el sistema de ejes  $G''wX''Y''Z''$  son:

$$\begin{aligned}
 X_{O_2} &= l_{O_2} L_x \\
 Y_{O_2} &= l_{O_2} L_y \\
 Z_{O_2} &= l_{O_2} L_z \\
 X_{O_1} &= (l_{O_2} - H) L_x \\
 Y_{O_1} &= (l_{O_2} - H) L_y \\
 Z_{O_1} &= (l_{O_2} - H) L_z
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

La ecuación del círculo de contacto en  $G''wX''Y''Z''$  es:

$$\begin{aligned}
 L_x(X - X_{O_2}) + L_y(Y - Y_{O_2}) + L_z(Z - Z_{O_2}) &= 0 \\
 (X - X_{O_2})^2 + (Y - Y_{O_2})^2 + (Z - Z_{O_2})^2 &= R_{O_2}^2
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

La ecuación del plano, el cual es perpendicular a  $G''wX''Z''$ , pasa por  $O_1$  y forma un ángulo  $\beta_l$  con respecto al eje  $Z''$  es:

$$Z = -ctg\beta_l X + C \quad (C \text{ is a constant}) \tag{2.4}$$

Considerando las coordenadas de  $O_1$  :

$$X = -tg\beta_l Z + (l_{O_2} - H)(L_z tg\beta_l + L_x) = -tg\beta_l Z + K \tag{2.5}$$



Donde k es:

$$K = (l_{O_2} - H)(L_z \operatorname{tg} \beta_l + L_x). \quad (2.6)$$

Insertando la ecuación anterior en la fórmula 2.3:

$$Y = \frac{L_x \operatorname{tg} \beta_l - L_z}{L_y} Z + \frac{L_x(X_{O_2} - K) + L_y Y_{O_2} + L_z Z_{O_2}}{L_y} \quad (2.7)$$

Si,

$$K_1 = \frac{L_x \operatorname{tg} \beta_l - L_z}{L_y} \quad \text{and} \quad K_2 = \frac{L_x(X_{O_2} - K) + L_y Y_{O_2} + L_z Z_{O_2}}{L_y} \quad (2.8)$$

Tenemos,

$$Y = K_1 Z + K_2 \quad (2.9)$$

Insertando la ecuación anterior en la 2.3:

$$AZ^2 + BZ + C = 0 \quad (2.10)$$

Donde,

$$\begin{aligned} A &= \operatorname{tg} \beta_l + K_1^2 + 1 \\ B &= 2(-\operatorname{tg} \beta_l K + X_{O_2} \operatorname{tg} \beta_l - Y_{O_2} K_1 - Z_{O_2} + K_1 K_2) \\ C &= (K - X_{O_2})^2 + (K_{O_2} - Y_{O_2})^2 + Z_{O_2}^2 - R_{O_2}^2 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Y de la ecuación 2.10, Z puede ser derivada como:

$$Z = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (2.12)$$

Aquí, la localización del punto  $E_l$  está determinada de acuerdo con la ecuación 14.7, 14.8 y 14.10. Sin embargo, en esas ecuaciones, hay una variable desconocida  $\beta_l$  (en el caso rueda-raíl es igual a 0). Es necesario añadir una ecuación. Generalmente el centro del wheelset se considera en el mismo plano vertical de los rodillos. Surge esta relación:

$$X + R'_{O_2} \sin \beta_l = 0 \quad (2.13)$$

Cuando  $l_{O_2}$  cambia, otros valores como  $R_{O_2}$ ,  $R'_{O_2}$  y  $\delta_{O_2}$  también cambiarán y las coordenadas de los posibles puntos de contactos  $E_l$ ,  $X_{E_l}$ ,  $Y_{E_l}$ ,  $Z_{E_l}$  y  $\beta_l$  pueden ser obtenidas. Una serie de posibles puntos de contacto forman una línea llamada “línea de trazado”. El punto de contacto  $E_l$  debe estar en dicha línea. Considerando el lado derecho del wheelset y ajustando el ángulo “roll”  $\theta$ ,  $E_l$  y  $E_r$  pueden ser determinados bajo la condición de seguridad de que la rueda izquierda y derecha están en contacto con los rodillos. Además el radio del círculo de contacto  $R_{l,r}$ , el ángulo de contacto  $\delta_{l,r}$  y la distancia del círculo de contacto al centro del wheelset  $l_{l,r}$  pueden estar predeterminadas. La diferencia de radios del círculo de contacto  $\Delta R$ , la diferencia del ángulo de contacto  $\Delta \delta$ , la conicidad equivalente  $\lambda_e$ , el parámetro del ángulo de contacto  $e_l$ , la rigidez gravitacional del wheelset  $K_{sy}$  y la rigidez gravitacional angular  $K_{sq}$  pueden ser calculadas como:

$$\begin{aligned}
 \Delta R &= R_l - R_r; & \lambda_c &= \frac{\Delta R}{2Y_{G'w}} \\
 \Delta \delta &= \delta_l - \delta_r; & \varepsilon_c &= \frac{\Delta \delta}{2Y_{G''w}}(l_l - l_r) \\
 K_{sy} &= \frac{-\sin \delta_l(Z_{E_l} \sin \delta_r - Y_{E_r} \cos \beta_r \cos \delta_r) + \sin \delta_r(Z_{E_l} \sin \delta_l + Y_{E_l} \cos \beta_l \cos \delta_l)}{Y_{G''w}D} \\
 K_{s\varphi} &= \frac{(-X_{E_r} \sin \delta_l + Y_{E_l} \sin \beta_l \cos \delta_l)(Z_{E_r} \sin \delta_r - Y_{E_r} \cos \beta_r \cos \delta_r)}{\varphi D} \\
 &\quad + \frac{(X_{E_l} \sin \delta_r - Y_{E_r} \sin \beta_r \cos \delta_r)(Z_{E_l} \sin \delta_l + Y_{E_l} \cos \beta_l \cos \delta_l)}{\varphi D}
 \end{aligned} \tag{2.14}$$

Donde:

$$D = \cos \beta_l \cos \delta_l (Z_{E_r} \sin \delta_r + Y_{E_l} \cos \beta_r \cos \delta_r) + \cos \beta_r \cos \delta_r (Z_{E_l} \sin \delta_l - Y_{E_r} \cos \beta_l \cos \delta_l) \tag{2.15}$$

### 2.5.5 DIFERENCIA GEOMÉTRICA ENTRE CONTACTO RUEDA-RAIL Y RUEDA-RODILLO

Una plataforma de rodillo utiliza un rodillo de radio limitado en lugar de la vía. Cuando el ángulo de guiñada “yaw”  $\varphi$  del wheelset es cero, la relación de la geometría de contacto rueda - rodillo es la misma que la rueda -rail. Si el ángulo de guiñada no es cero, la diferencia de geometría existe.



## **CAPÍTULO 3:**

# EL BANCO DE ENSAYOS



## 3.1 INTRODUCCIÓN

Desde un lenguaje coloquial, se trata de un banco de ensayos mecánico (Figura 3.1), cuya función dinámica es hacer girar un wheelset a escala 1:4,333 para estudiar los efectos dinámicos del eje en las condiciones de carga elegidas.

Su diseño, el cual detallaremos seguidamente, a de asegurar que podamos caracterizar el comportamiento dinámico de los wheelset a estudiar, así como los diferentes defectos que pueda presentar el eje o las ruedas.

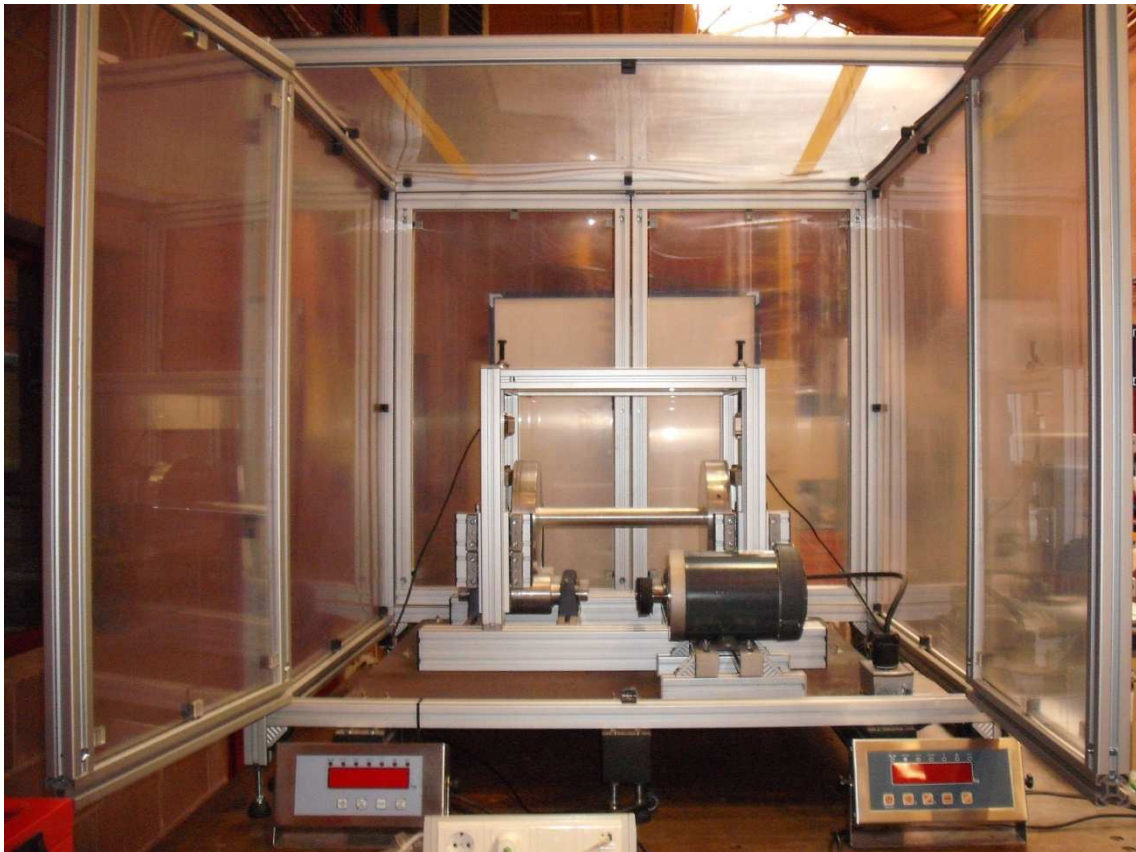


Figura 3.1. Vista general del banco de ensayo

Los principales sistemas del banco de ensayos (Figura 2.2) son:

Sistema de protección: Una jaula o **carcasa** protectora para garantizar la seguridad del usuario, formada por unas finas láminas de copoliéster, dispuestas en forma de cubo, en todas sus caras excepto inferiormente, espacio donde va situada la bancada que explicaremos en breves. Estas láminas están sujetas por una estructura de perfiles de aluminio que forman las aristas del cubo, sostenida sobre unas patas con amortiguación. En una arista de la carcasa y anclado a ella mediante una pequeña subestructura, orientada hacia el exterior y para facilitar su manejo, encontramos el variador de frecuencia, que nos permite regular el funcionamiento del motor,

Sistema de sustentación: Una **bancada** formada por 3 grandes vigas y una pesada plancha de acero, con la finalidad de soportar todo el peso y vibraciones del banco, el cual se soporta sobre ella, además de una pequeña subestructura soporte del motor. Esta bancada es independiente de la carcasa, posee sus propias patas también con amortiguación. Junto a ella se sitúan los displays que nos informan sobre la carga aplicada con cada célula de carga.

Sistema de ensayo: El **banco**, parte principal, con una estructura similar a la de un cubo compuesta también por perfiles de aluminio. En él encontramos un dispositivo de carga con un tornillo sin fin unido a una célula de carga que ejerce fuerza sobre un taco de presión situado en el pórtico en el que se alojan los soportes del eje. Estos pórticos, uno en cada extremo del eje, tienen movimiento gracias a unas guías lineales, para poder introducir y sacar el eje a la par que transmitir las vibraciones, ya que sobre ellos se sitúan los acelerómetros que permiten registrar la señal de las vibraciones. El eje gira sobre 4 rodillos, 3 locos y uno motriz, perfectamente sujetos mediante soportes anclados a la base del banco. El movimiento se transmite desde el motor al rodillo motriz mediante una correa dentada de caucho y 2 poleas, una en el rodillo y otra en el propio eje del motor.

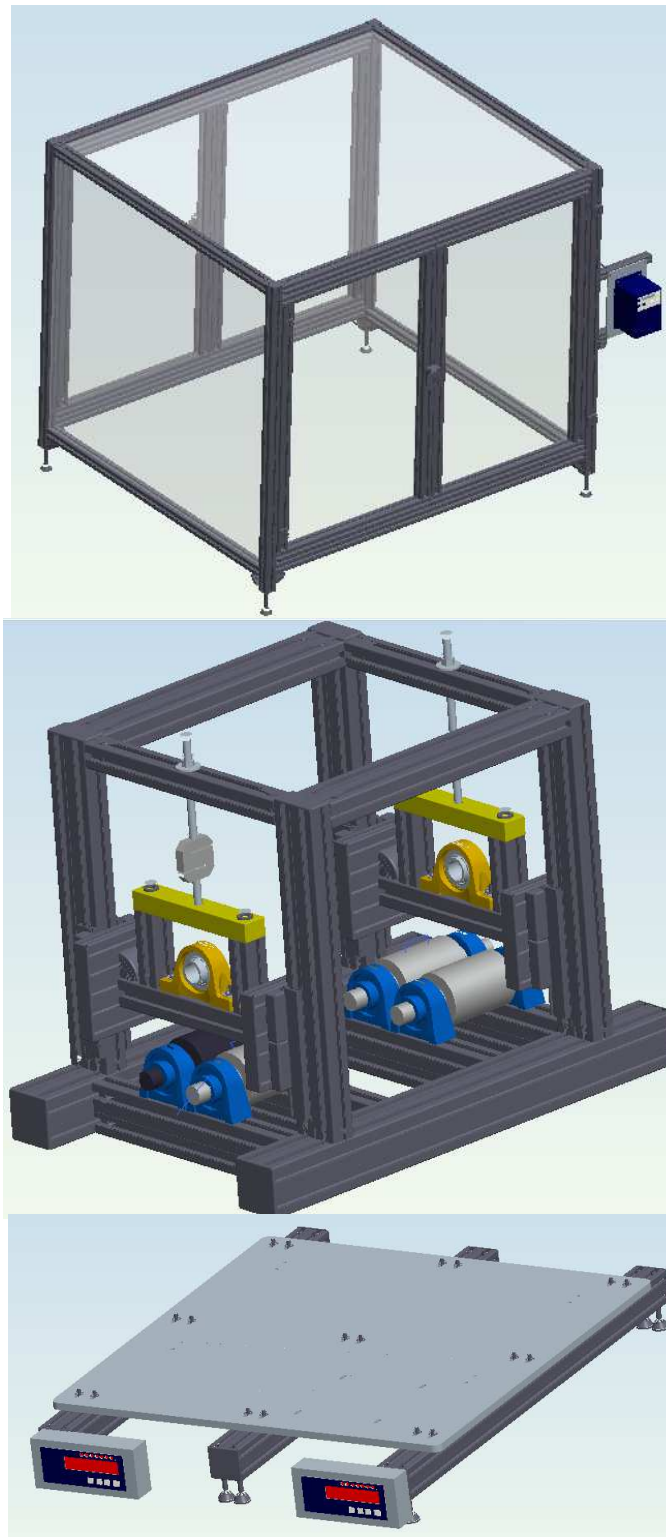


Figura 3.2. Modelado de los sistemas: Carcasa- banco- Bancada



## 3.2 CONDICIONES DE DISEÑO

Las características más relevantes a la hora de diseñar nuestro banco, teniendo en cuenta la finalidad de su fabricación, son las detalladas a continuación:

1. Posibilidad de reproducir diversas condiciones de trabajo sobre los ejes elegidos. Para ello se dispone de un sistema de actuación capaz de aplicar carga sobre el eje, de forma regulada.
2. Sencillez y fiabilidad en la regulación de los esfuerzos que se apliquen al eje que estudiemos
3. Posibilidad de regular la velocidad de giro adecuadamente y con precisión, manteniendo la estabilidad en cualquier régimen.
4. Diseño que no comprometa la seguridad del usuario y permita un fácil y cómodo manejo.
5. Sistema de medida que permita una interpretación de datos sencilla y fiable, aportando información sobre la carga, velocidad y vibraciones.
6. Posibilidad de incorporar nuevos elementos.

## 3.3. DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS

El objetivo de la fabricación de este banco de ensayos es probar ejes de ferrocarril a escala, los nombrados “wheelset” anteriormente, simulando las mismas condiciones de carga y rozamiento que las reales. Para ello han sido necesarias diferenciar los siguientes sistemas: carcasa-banco-bancada.

Como podemos observar en las imágenes, la mayor parte de la estructura del banco está construida con perfiles de aluminio y accesorios de la marca Bosch Rexroth (Figura 3.2), debido a su amplia gama de productos que aportan un sinnúmero de posibilidades, facilidad de montaje y calidad.

Además, ha servido de gran ayuda el servicio de esta marca, puesto que muchas de los modelados de estas piezas se han podido exportar al programa de modelado utilizado desde la página web de la marca, facilitando así la tarea, aunque evidentemente había que ensamblarlas después.



Figura 3.3. Imagen de marca Bosch Rexroth

Según la parte de la estructura del banco de ensayos, se han utilizado unos perfiles de mayores o menores dimensiones, con la posibilidad de elegir entre una gran variedad, desde unos de 80x80mm que soportan el peso de la bancada hasta los de 30x30mm de las subestructuras.

A continuación procedo a describir con detalle cada una de los sistemas principales:

### 3.3.1 SISTEMA DE PROTECCIÓN: CARCASA

La carcasa (Figura 3.4) es una estructura cerrada, excepto inferiormente, que está limitada por la bancada, en forma de cubo con unas dimensiones de 1200x1060 mm cuya función es proteger al operario de posibles riesgos al trabajar con el banco, mejorando la seguridad de éste.

En todos sus lados encontramos unas láminas de copoliéster con un espesor de 3mm. Posee 2 puertas con bisagras para facilitar la apertura, una trasera y otra frontal, que nos permite acceder al banco y poder cambiar los ejes para ensayar.

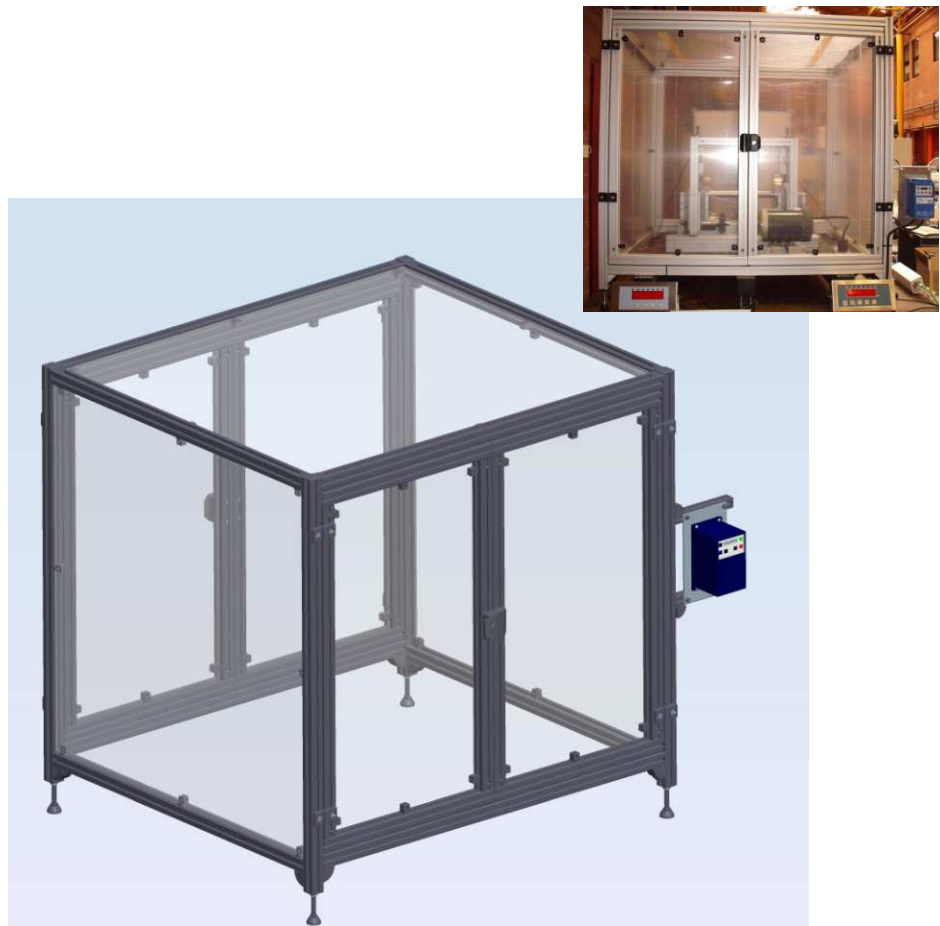


Figura 3.4. Sistema de protección: carcasa

Debido a las propiedades del copoliéster (material muy ligero), las láminas flectan y está en proceso hacerlas más pequeñas. Estas láminas están sujetas a la estructura mediante unos elementos de plástico llamados “variofix-blocks” (Figura 3.5) que encajan perfectamente en las ranuras de 10 mm de los perfiles mediante tuercas de martillo.

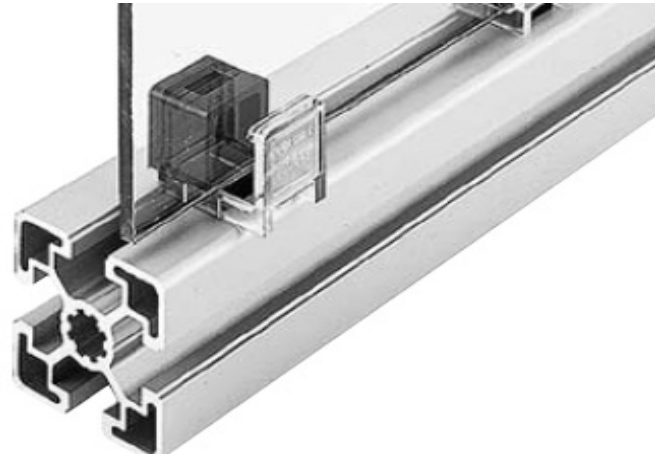


Figura 3.5. Variofix block

La fijación de las láminas (Figura 3.6) a la estructura mediante el “variofix block” es sencilla, se aprietan con un clip fijador o se fijan con la tuerca cuadrangular M6 que se incluye y con un tornillo.

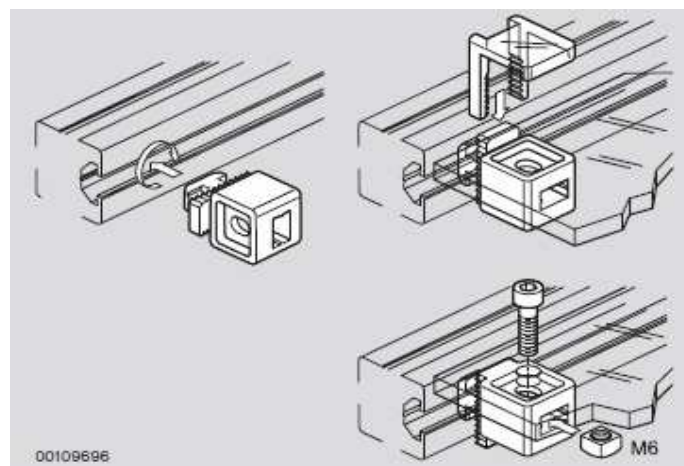


Figura 3.6. Montaje Variofix-block

La estructura de la carcasa está soportada por patas con amortiguación y se basa en perfiles de aluminio de 40x40 mm (Figura 3.7) de la marca Bosch Rexroth.

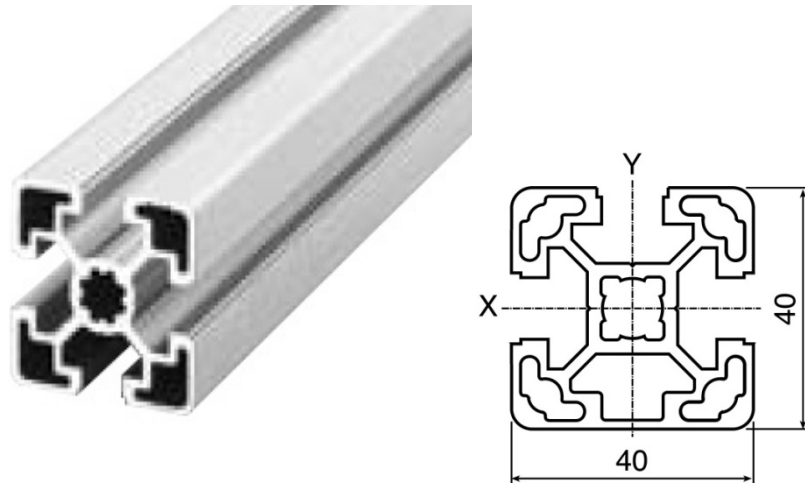


Figura 3.7. Perfil 40x40

Las dimensiones de estos perfiles (Figura 3.8) vienen detalladas en la siguiente imagen, donde se puede apreciar la ranura anteriormente nombrada:

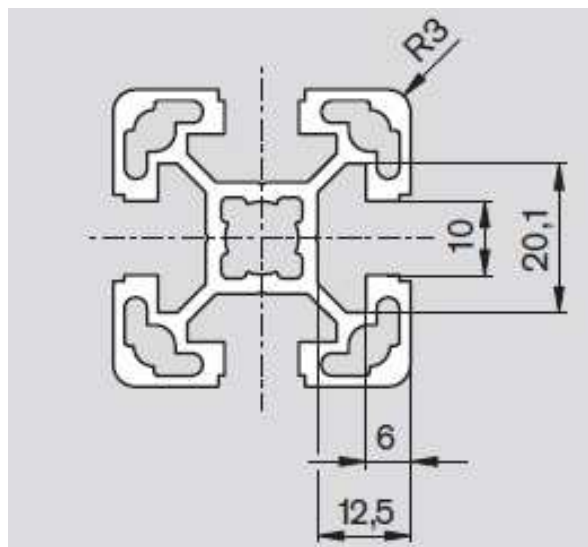


Figura 3.8. Dimensiones del perfil 40x40

Para los marcos de las puertas de la carcasa, estos perfiles se unen de forma segura mediante escuadras interiores (Figura 3.9) de gran capacidad de carga compuestas de acero inoxidable, que encajan perfectamente en las ranuras de 10mm, dando lugar a estructuras especialmente estables que soportan elevadas cargas estáticas y dinámicas, indicados para la construcción desde mesas hasta grandes armazones de máquinas.



Figura 3.9. Unión de escuadra interior

Estas escuadras interiores (Figura 3.10) se unen las vigas de forma fácil y segura sin necesidad de mecanizar los extremos del perfil:

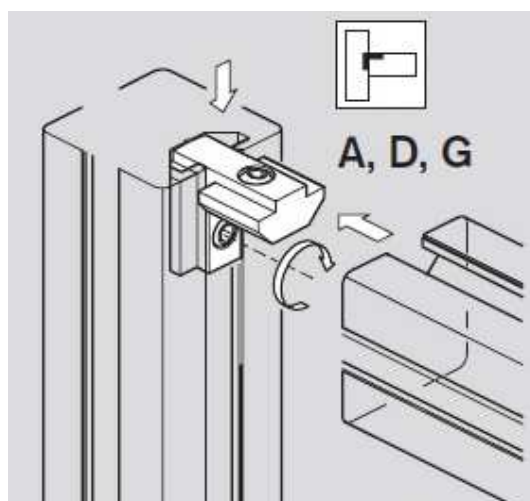


Figura 3.10. Esquema de unión con escuadra interior

En la imagen inicial de la carcasa podemos apreciar en una arista, una placa en la cual se fija el variador de frecuencia mediante 4 tornillos, cuyo material es acero ST37 y está unida al conjunto de la carcasa mediante dos perfiles de 30x30 mm y longitud 200 mm. Estos perfiles tienen practicados 4 taladros para sostener la placa del variador mediante 4 tornillos con cabezas de martillo (Figura 3.11) que encajan en la ranura del perfil.

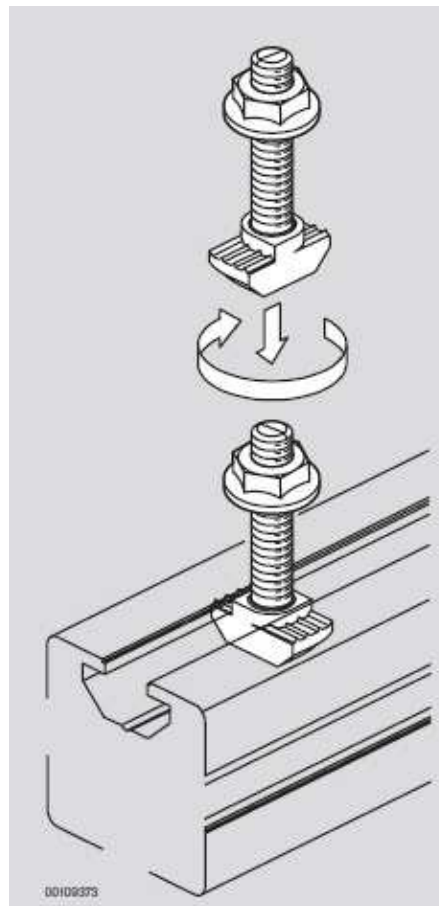


Figura 3.11. Detalle de tornillo con cabeza de martillo

Los 2 perfiles de 30x30 se unen a la estructura de la carcasa mediante dos escuadras exteriores (Figura 3.12), las cuales son muy útiles para realizar juntas en T y con gran resistencia a torsión:

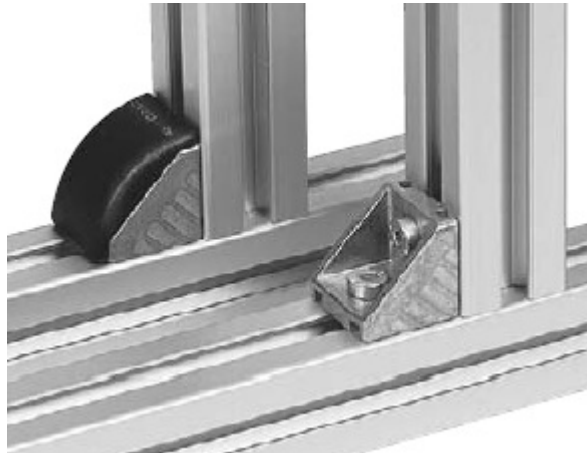


Figura 3.12. Escuadra exterior

Mediante 2 cabezas de martillo y la escuadra exterior realizamos la unión (Figura 3.13) de los 2 perfiles de forma sencilla. Estas uniones también son utilizadas en los vértices inferiores de la carcasa.

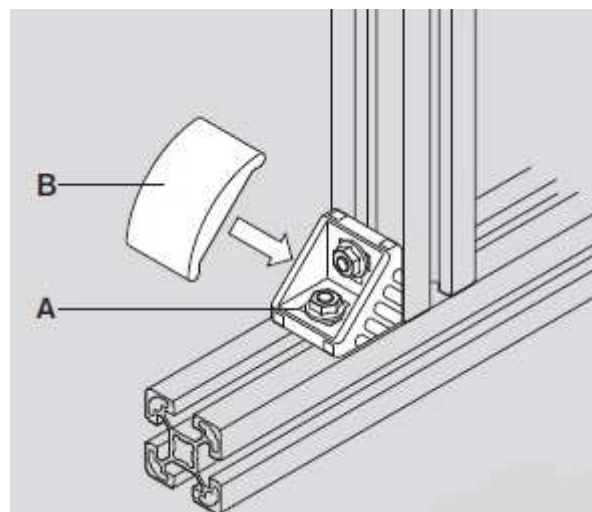


Figura 3.13. Detalle de montaje de escuadra exterior

En cuanto al montaje de las puertas de la carcasa, consiste en la unión mediante 4 bisagras de plástico (Figura 3.14), cuyos ejes son de acero cincado, con un marco cuyos perfiles usados son de la misma medida que el resto de esta estructura.



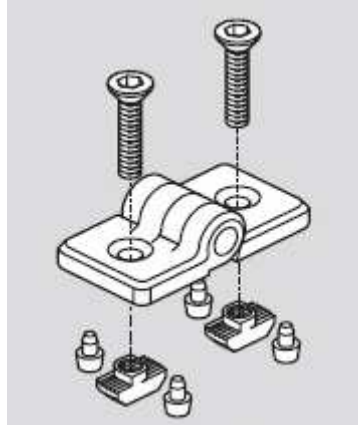


Figura 3.14. Explosionado de bisagra

De esta manera, las bisagras son capaces de soportar hasta 150N de peso, más que suficiente, puesto que las puertas pesan mucho menos (Figura 3.15).

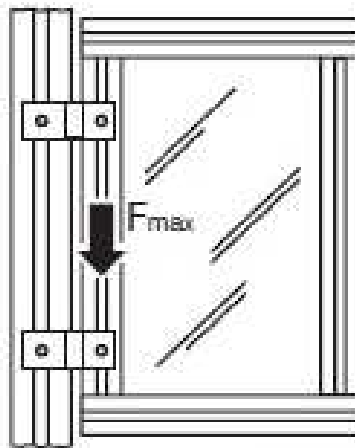


Figura 3.15. Esquema de puerta

La única diferencia de la estructura del marco de la puerta con la estructura de la carcasa, es la forma de unión, con empalmadores de apriete rápido (Figura 3.16).



Figura 3.16. Empalmador de apriete rápido

Para realizar este tipo de uniones (Figura 3.17) es necesario practicar unos taladros transversales en los perfiles, como se muestra en la figura.

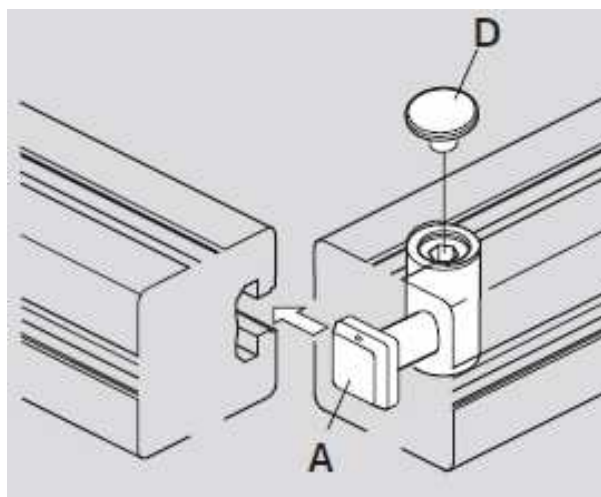


Figura 3.17. Esquema de montaje de empalmador de apriete rápido

Con la finalidad de poder cerrar de forma segura estas 2 puertas, frontal y trasera, se han instalado 2 cerraduras de metal (Figura 3.18) cuyo material es fundición a presión de cinc con recubrimiento de polvo negro y posee autobloqueo en la posición de cierre:

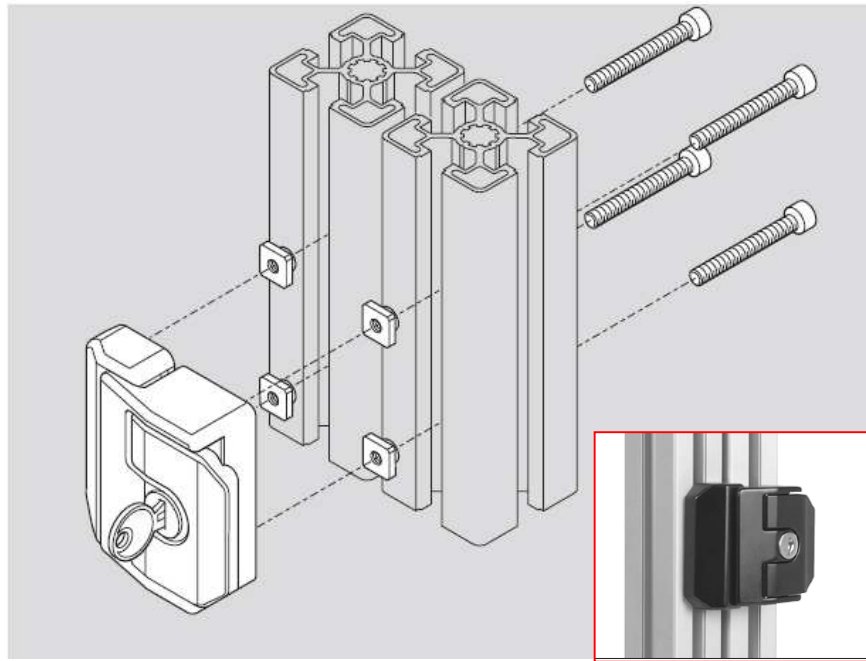


Figura 3.18. Detalle de la cerradura

Para cerrar basta con una ligera presión, tiene incluida una llave que nos permite un cierre más preciso. Con sólo tirar ligeramente del manillar ergonómico se abrirá sin dificultad, si no está cerrada con llave.

### 3.3.2 SISTEMA DE SUSTENTACIÓN: BANCADA

La función de la bancada (Figura 3.19) es soportar el peso y evitar las vibraciones del banco. Está formada por 3 perfiles de aluminio de la marca Bosch Rexroth de 80x80 mm y una longitud de 1200mm, el doble de grandes que los que forman la estructura de la carcasa, que soportarán el peso del banco, el del motor y una plancha. Esta plancha es de dimensiones 960x 960 mm, de material acero ST52, espesor 18mm y un peso aproximado de 140 kg, para conseguir así un conjunto estable que evite posibles vibraciones y movimientos.

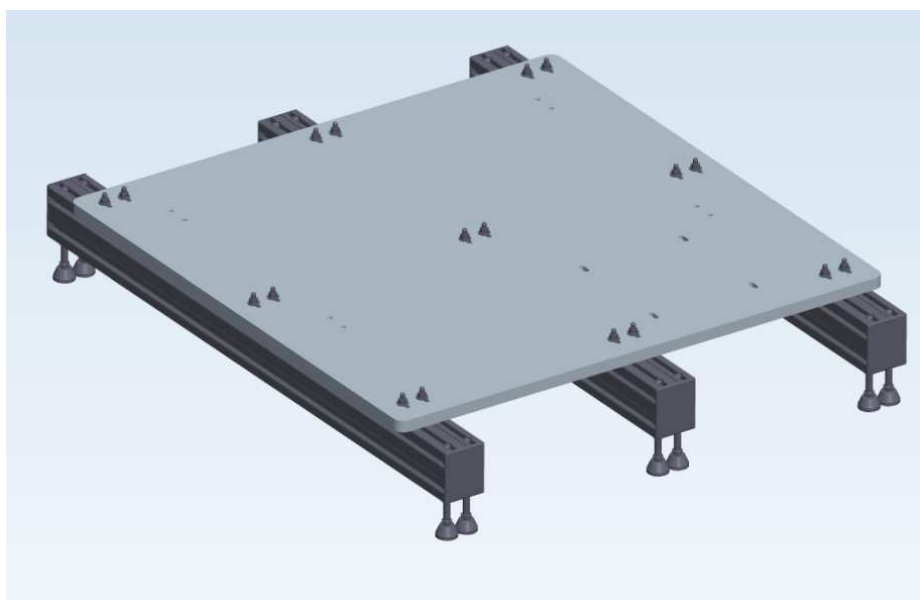


Figura 3.19. Sistema de sustentación: Bancada

La plancha tiene practicados 18 taladros, 6 por cada viga, que permiten la unión a las tres vigas mediante cabezas de martillos de métrica M8 que encajan perfectamente en la ranura de 10mm de los perfiles (Figura 3.20) y unen la plancha con una tuerca.

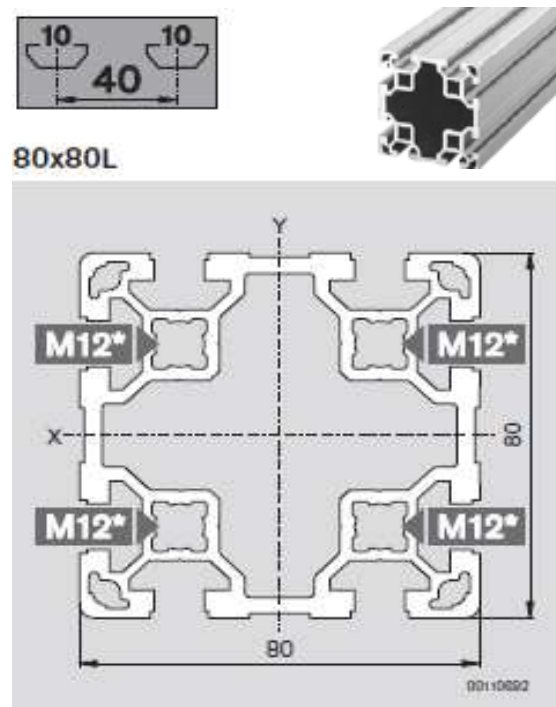


Figura 3.20. Dimensiones del perfil 80x80L

En la siguiente imagen (Figura 3.21) podemos observar cómo encajan los tornillos con cabeza de martillo en la ranura de 10mm de los perfiles, permitiendo así la fijación de la plancha de acero:

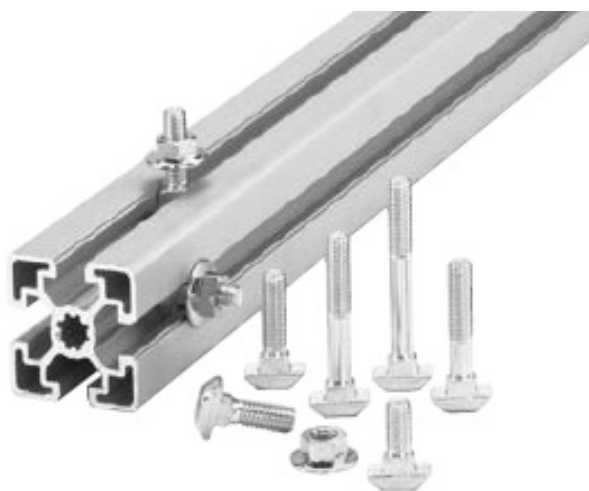


Figura 3.21. Tornillos con cabeza de martillo

Cada viga se apoya en el suelo mediante 4 patas amortiguadoras (Figura 3.22) de acero inoxidable con husillo que igualan los desniveles del suelo hasta  $10^\circ$  y evitan vibraciones.



Figura 3.22. Patas con amortiguación

Estas patas (Figura 3.23) también fueron utilizadas en la estructura de la carcasa por sus buenas propiedades. En el siguiente esquema podemos apreciar mejor el mecanismo.

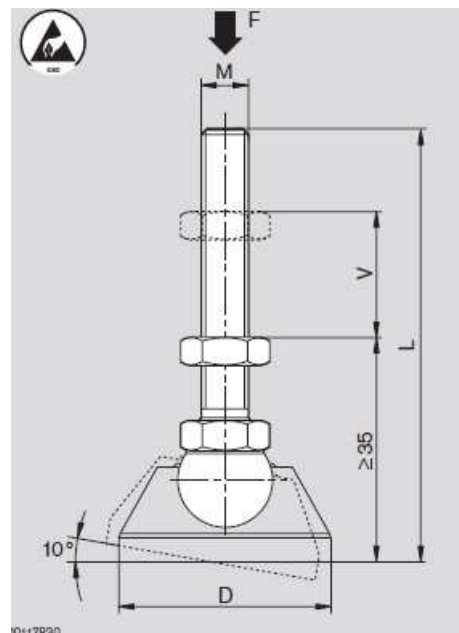


Figura 3.23. Detalle de la pata con amortiguación

Todos los perfiles han sido cortados a medida. Para evitar posibles cortes y tener mejores acabados, todos ellos poseen tapas de plástico (Figura 3.24) ,cuya forma varía según la dimensión del perfil, en sus extremos.

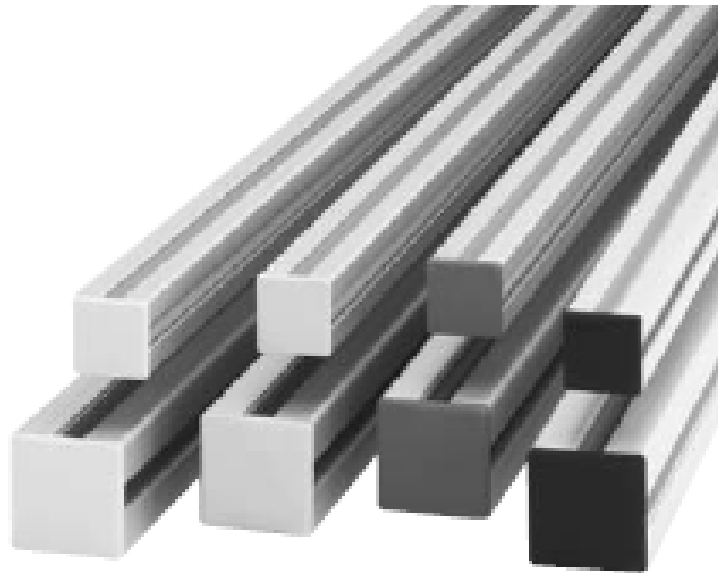


Figura 3.24. Tapas de los perfiles

#### 3.3.3. SISTEMA DE ENSAYO: BANCO

El banco (Figura 3.25) es la parte más compleja de nuestro conjunto debido a la cantidad de piezas que lo forman. También está compuesto por perfiles de aluminio de la marca Bosch Rexroth.

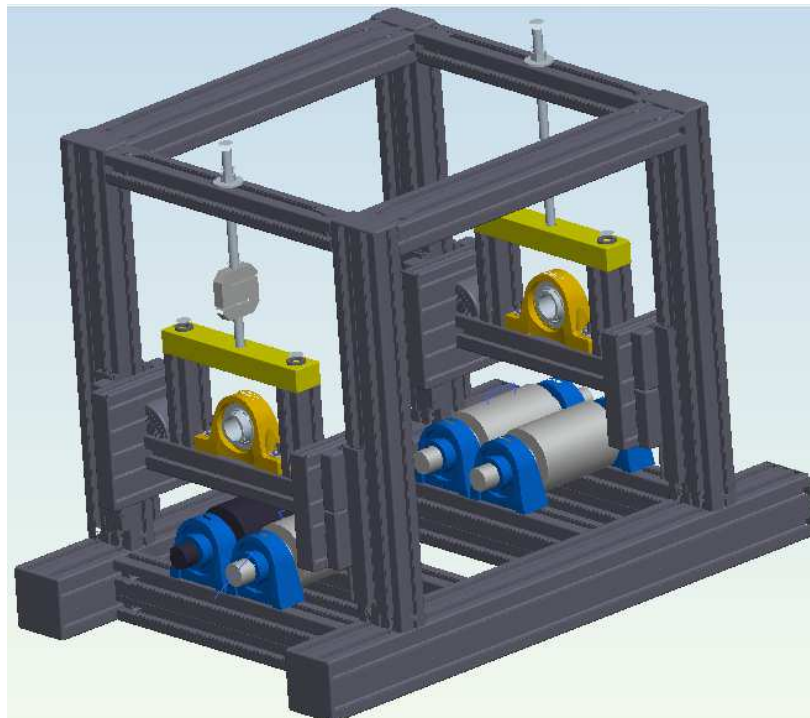


Figura 3.25.Sistema de ensayo: Banco

Vamos a detallar su montaje de forma rápida y sencilla, para después ir detallando todo con precisión. El primer paso (Figura 3.26), partiendo de la bancada, es fijar las 2 perfiles, cuyas dimensiones son 80x80mm (similares a los ya vistos en la bancada) y su longitud es 800mm, que formarán junto a otros 4 perfiles atravesados, la base del banco.



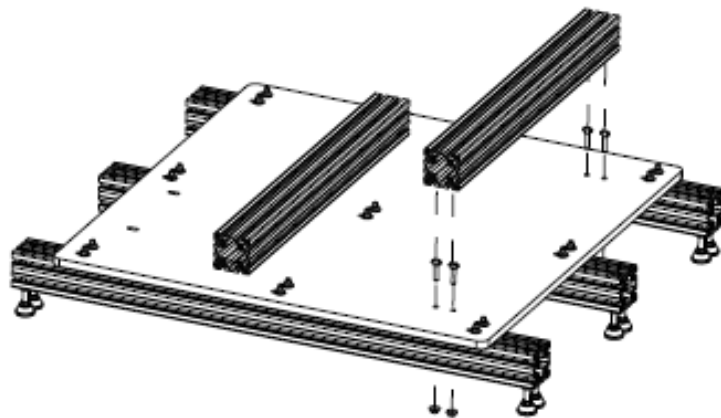


Figura 3.26 Montaje de perfiles base

Estos 2 perfiles son de vital importancia, puesto que tienen 2 funciones importantes: unen el banco a la bancada y sostienen el resto de la estructura del banco. Este es el resultado de la unión (Figura 3.27):

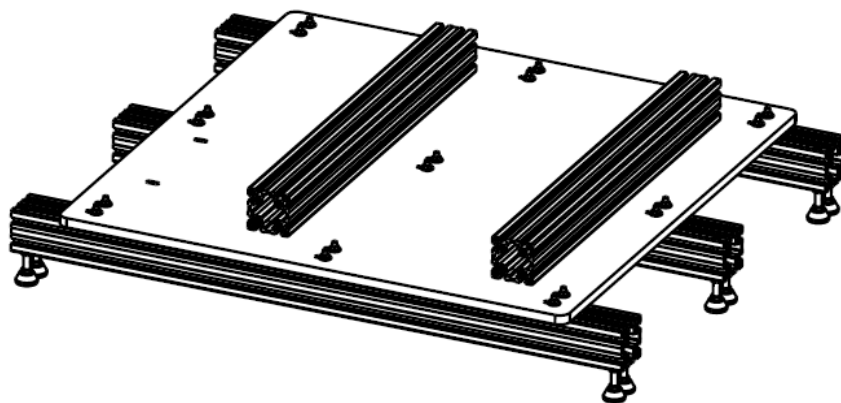


Figura 3.27. Perfiles de la base del banco

A continuación, montamos las 4 columnas del banco (Figura 3.30) de longitud 500mm, utilizando perfiles en posición vertical de dimensiones 40x80mm (Figura 3.28).

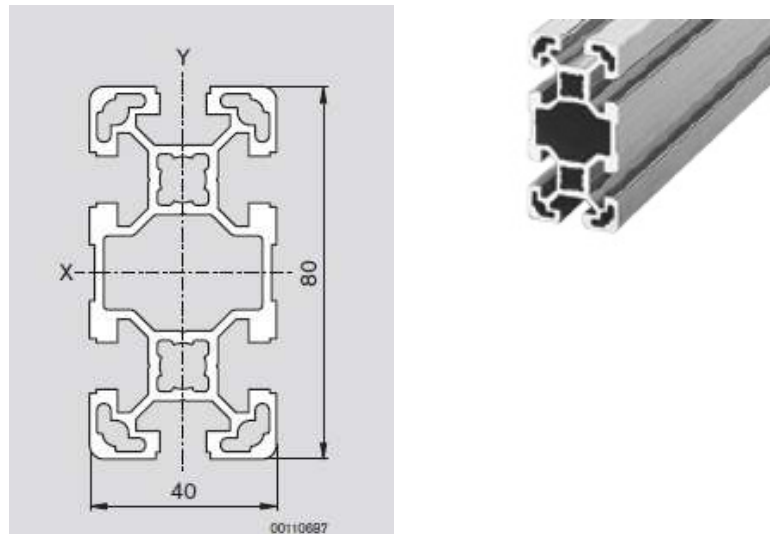


Figura 3.28. Detalle del perfil 40x80

Para unir estos perfiles, utilizamos uniones en T (Figura 3.29) cuyo material es fundición de aluminio a presión. Cada unión se realiza con 2 uniones en T, para que cuadren las dimensiones de los perfiles.

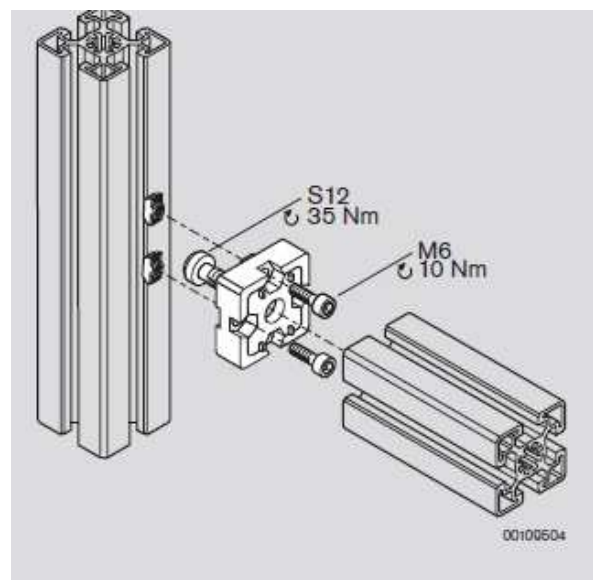


Figura 3.29. Esquema de unión en T

Este tipo de unión posee dos cabezas de martillos que encajan en la ranura de uno de los perfiles haciendo presión sobre dicha pieza y un perno que hace presión sobre el centro del otro perfil, tal y como se aprecia en la figura anterior.

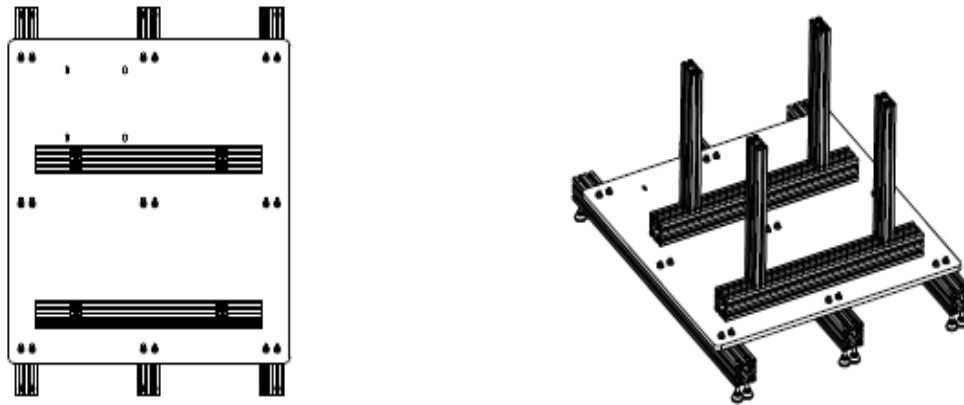


Figura 3.30. Columnas del banco

En cada columna, colocaremos una guía lineal. Este sistema se basa en un pequeño perfil de apriete de aluminio anodizado encajado en la ranura de la columna, que contiene un vástago guía de acero (Figura 3.31), ambos de 200mm de longitud, según a siguiente imagen:

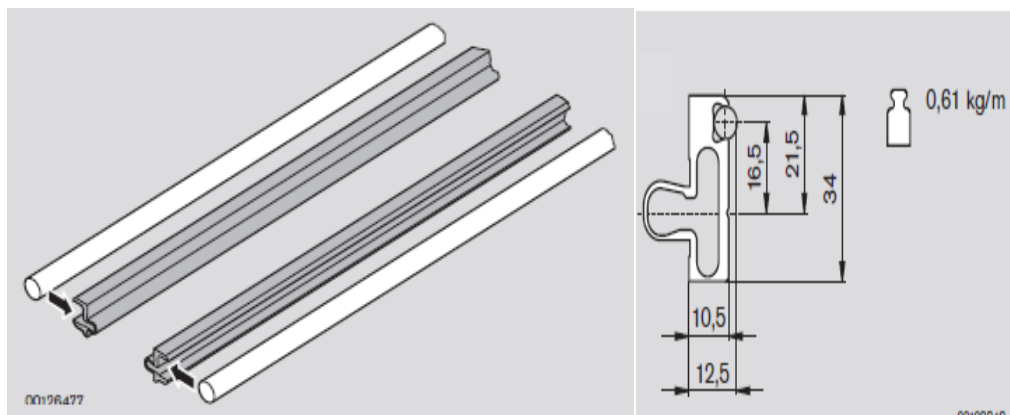


Figura 3.31. Perfil de apriete con vástago guía de acero

El banco de ensayos tendrá las siguientes dimensiones (Figura 3.32):

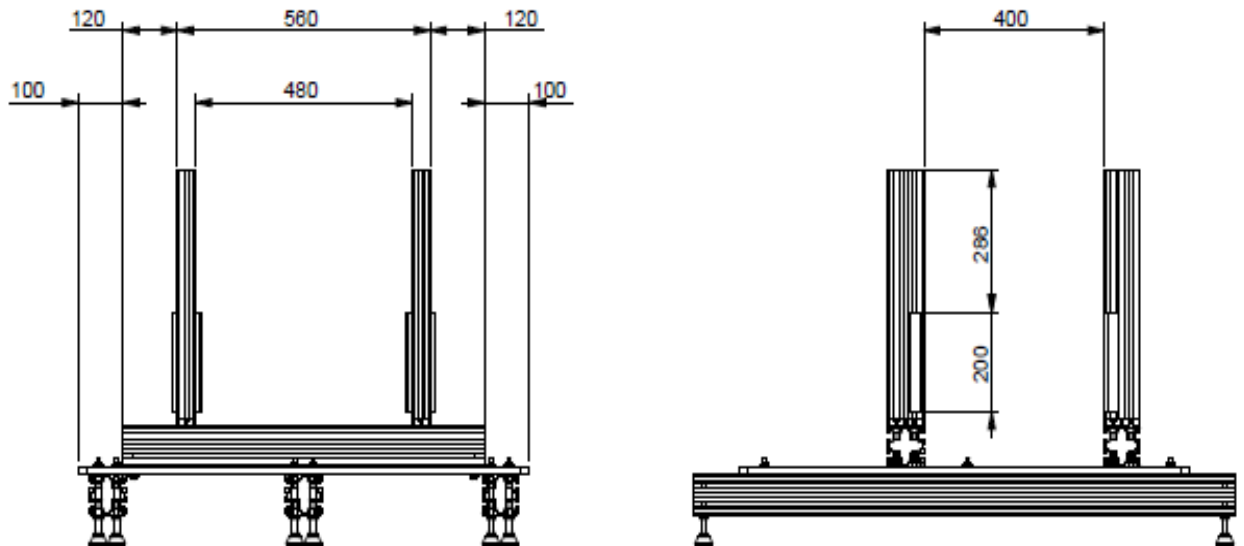


Figura 3.32. Dimensiones del alzado del banco

El siguiente paso en la construcción del banco de ensayos, será fijar las vigas transversales (Figura 3.33), cuya función será sostener los soportes de los rodillos.

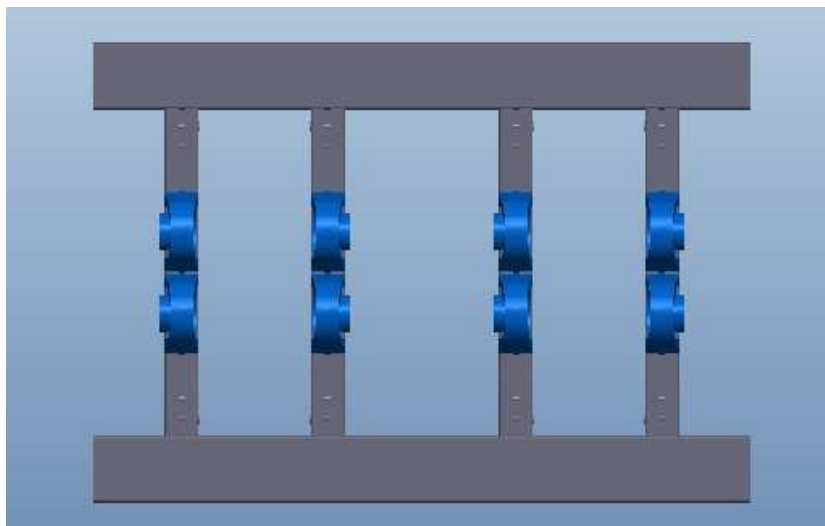


Figura 3.33. Vigas transversales con soportes de rodillos

La unión de estas 4 vigas atravessadas a los 2 perfiles de 80x80 se realiza mediante un empalmador de pernos (Figura 3.34), con el cual se transmiten fuerzas simétricamente a través de dos tornillos hasta el núcleo firme del perfil, siendo así adecuado para cargas elevadas y torsión. Mediante una cabeza de martillo que encaja en la ranura del perfil se aprieta el empalmador fijando la unión. Mediante un tornillo de cabeza de allen.

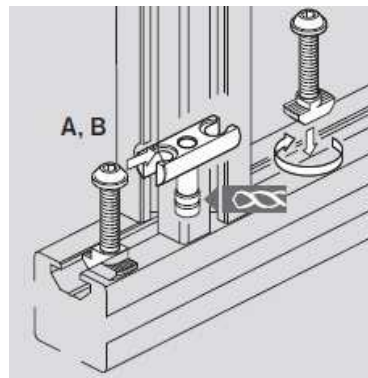


Figura 3.34. Esquema del empalmador de pernos

El resultado (Figura 3.35) debe ser el mostrado en la siguiente imagen:

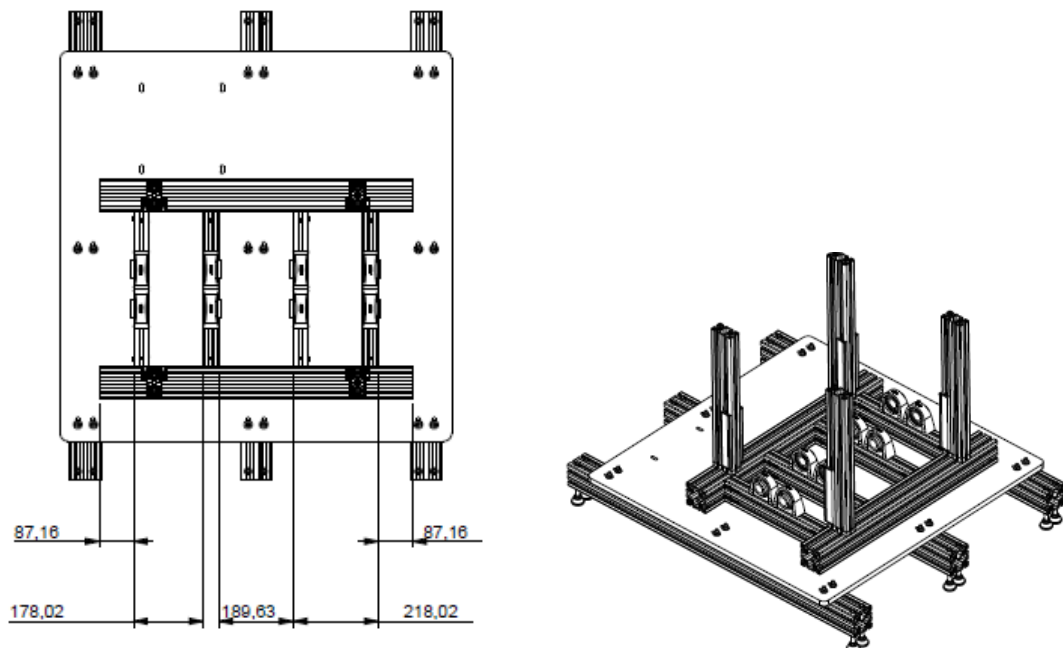


Figura 3.35. Guías lineales montadas

Por último, para completar la estructura del banco, uniremos superiormente las columnas con otros perfiles (Figura 3.36), formando una estructura similar a la de un cubo. Utilizaremos 2 perfiles de 40x40mm, en los que irá el tornillo sin fin del subsistema de carga, y otros 2 perfiles de 40x80mm. Estas uniones se realizan mediante los empalmadores de pernos vistos anteriormente.

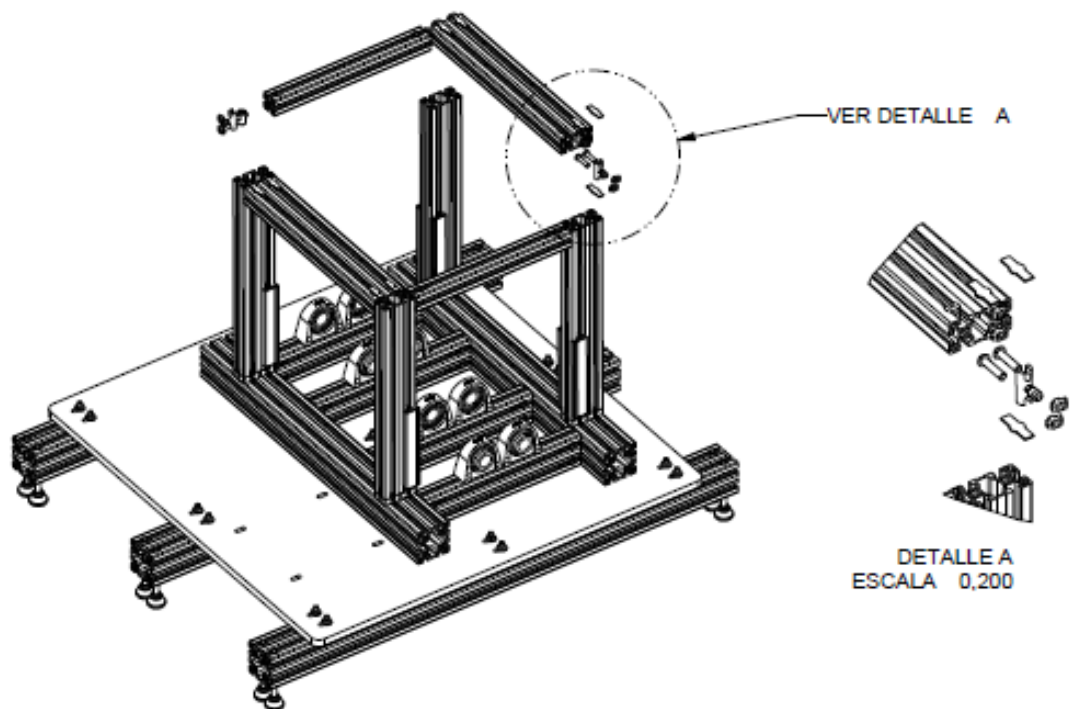


Figura 3.36. Uniones superiores del banco

En la imagen anterior, apreciamos ya los soportes de los rodillos (Figura 3.37) instalados en la base del banco, en los perfiles transversales. Tienen practicados unos taladros que permiten unirlos a las vigas mediante tornillos con cabeza de martillo y sus correspondientes tuercas.

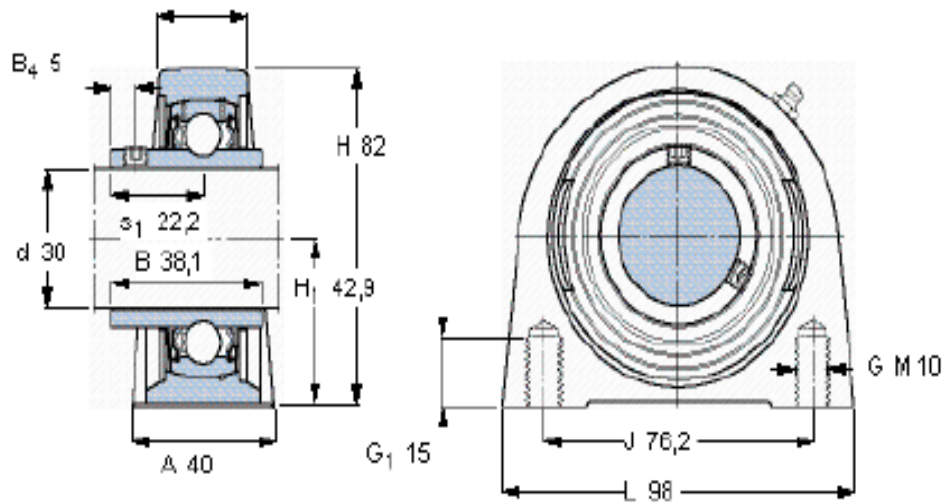


Figura 3.37. Dimensiones del soporte de los rodillos

Los rodillos (Figura 3.38) deben montarse a la par que se unen los soportes a las vigas transversales, introduciendo el eje del rodillo en el soporte previamente:

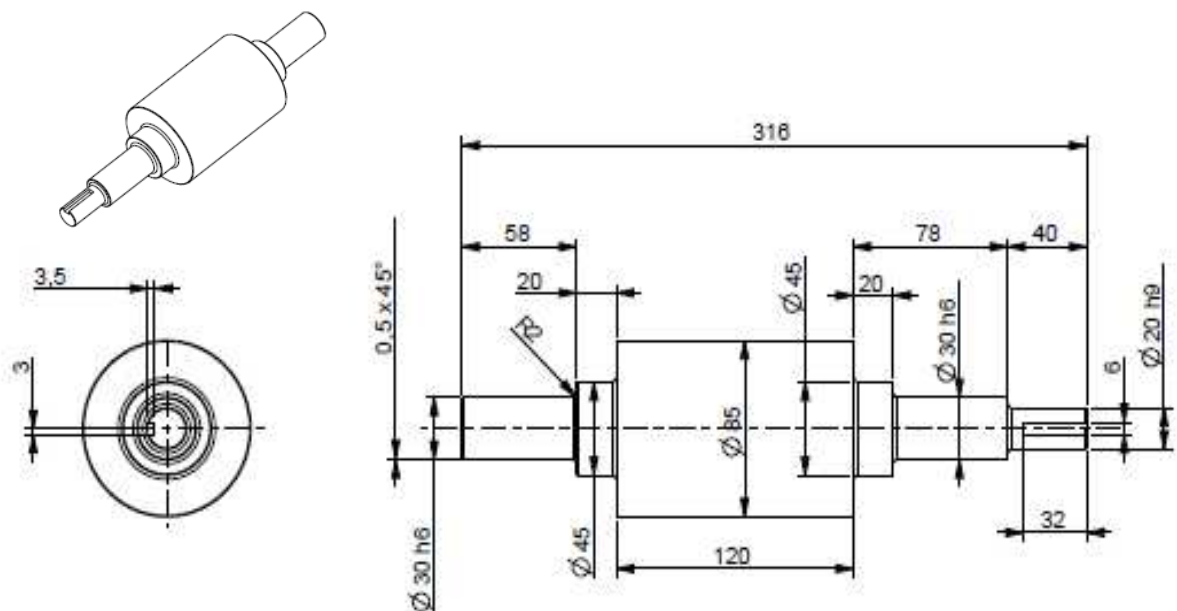


Figura 3.38. Dimensiones de los rodillos

La forma de cubo de esta estructura (Figura 3.39) nos proporciona una mayor solidez y estabilidad, consiguiendo así el resultado final.

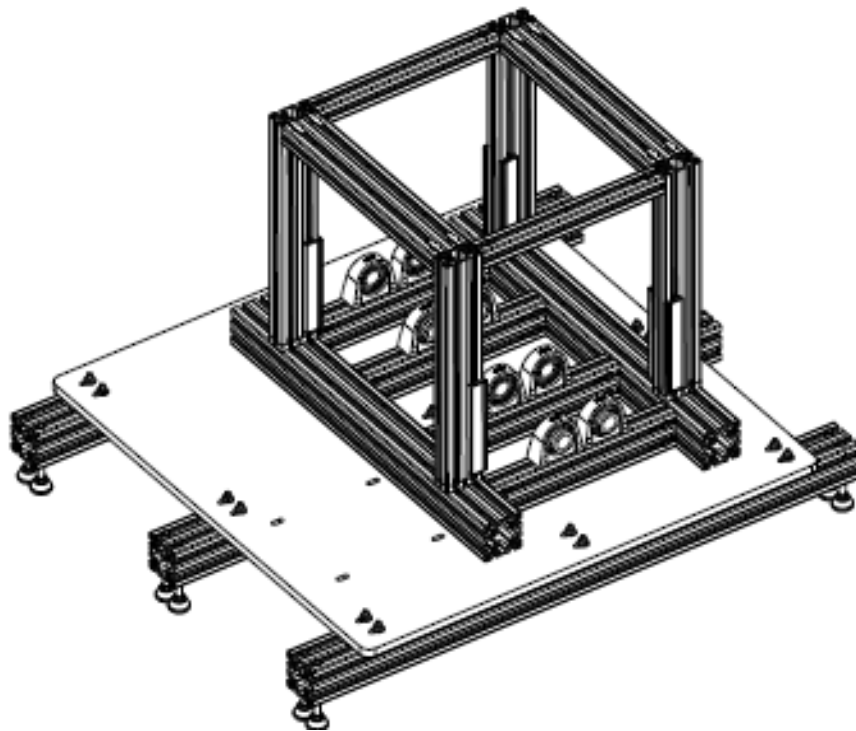


Figura 3.39. Esqueleto del banco

Una vez terminado la estructura del banco, nos disponemos a agregarle los distintos elementos y subsistemas que lo completan. Comenzaremos por el subsistema de carga: en cada columna, montaremos un carrito (Figura 3.40) que nos permitirá movimiento vertical gracias a las guías lineales en las que se mueve, cuyo aspecto real será el siguiente:



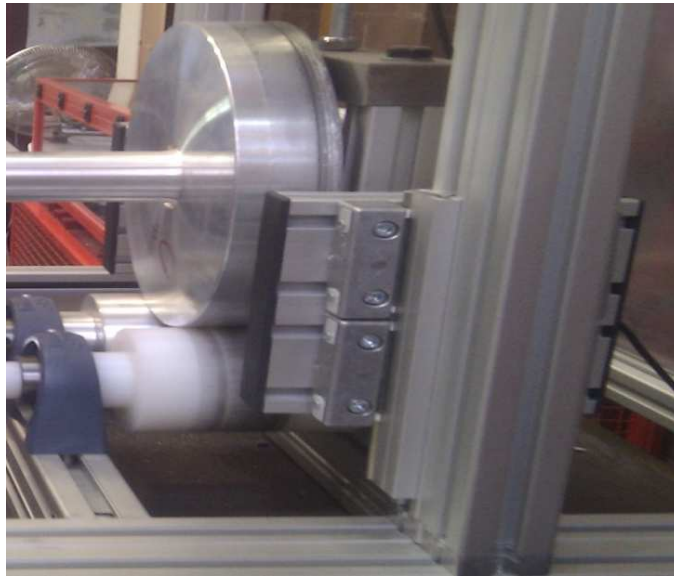


Figura 3.40. Foto del carrito con la guía lineal

Para construir los 4 carritos, necesitamos 2 cojinetes de sustentación (Figura 3.41) por cada vástago de la guía lineal, cuyo diámetro es 6 mm y encaja perfectamente en la ranura del rodillo de acero templado rectificado de los cojinetes.

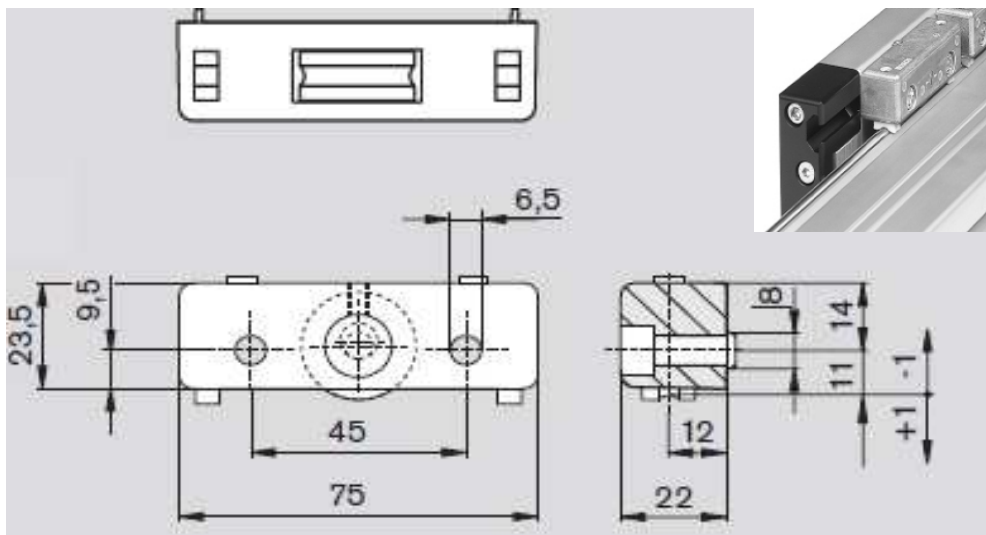


Figura 3.41. Detalle del cojinete de sustentación

El carro (Figura 3.42) se completa con la unión, mediante tornillos, de estos cojinetes de sustentación a un perfil cuadrado cuyas dimensiones son 150x150 mm con sus tapas correspondientes, modelo LF6C.

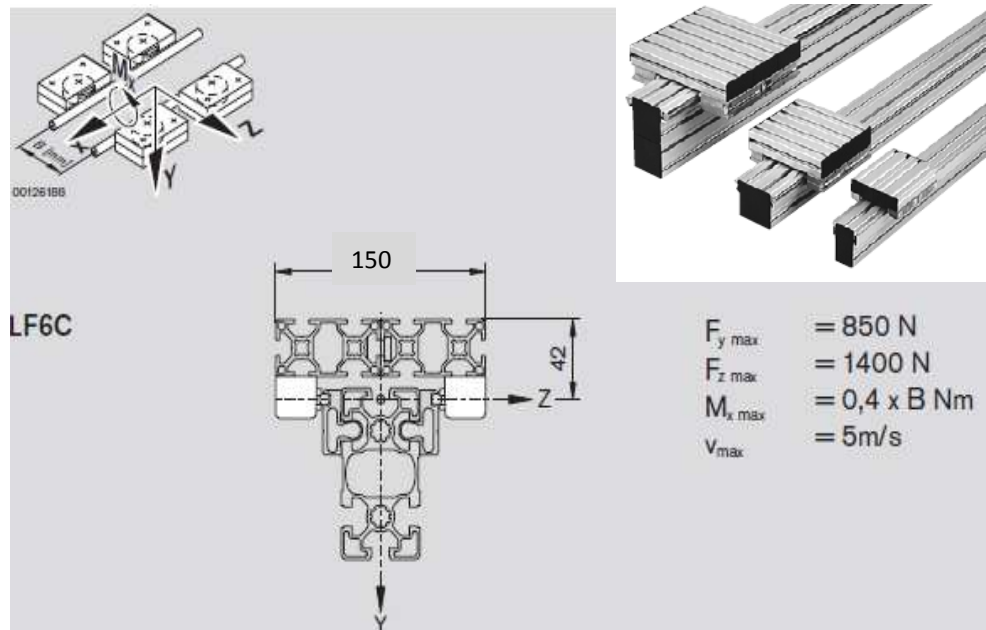


Figura 3.42. Dimensiones del carrito

Estos carritos situados en cada columna del banco, servirán para dar movilidad vertical al pórtico que sostiene el wheelset mediante un soporte. El banco cuenta con 2 pórticos (Figura 3.43), uno en cada extremo del eje, los cuales se unen a un carrito en sus extremos mediante escuadras exteriores..

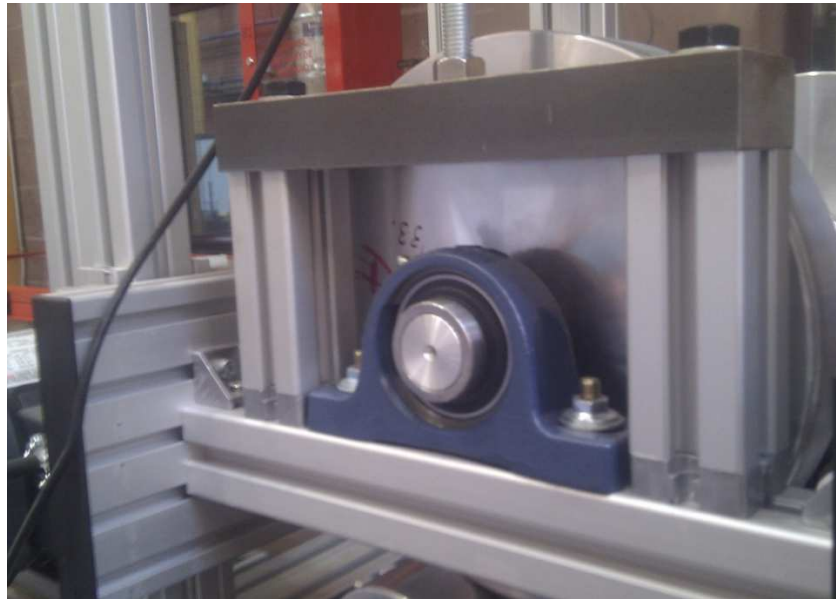


Figura 3.43.Foto del pórtico

El wheelset soportado, a escala 1:4, es de aleación de aluminio y está formado por un eje (Figura 3.44), del cual se adjunta el plano a continuación, y 2 discos o ruedas (Figura 3.45). Tiene un peso aproximado de 20kg, por lo tanto hay que tener cuidado a la hora de trabajar con él.

Para introducir el wheelset en el banco, tenemos que soltar el subsistema de carga, es decir, desacoplar la célula de carga, permitiendo así aflojar las escuadras exteriores que fijan el pórtico, para que nos permita un movimiento en dirección axial del eje sobre el carrito y podamos encajar los extremos del eje en sus soportes. También tenemos otra opción, desatornillar los soportes del eje para poder sacar el wheelset y montar el nuevo wheelset a escala atornillándolos de nuevo.

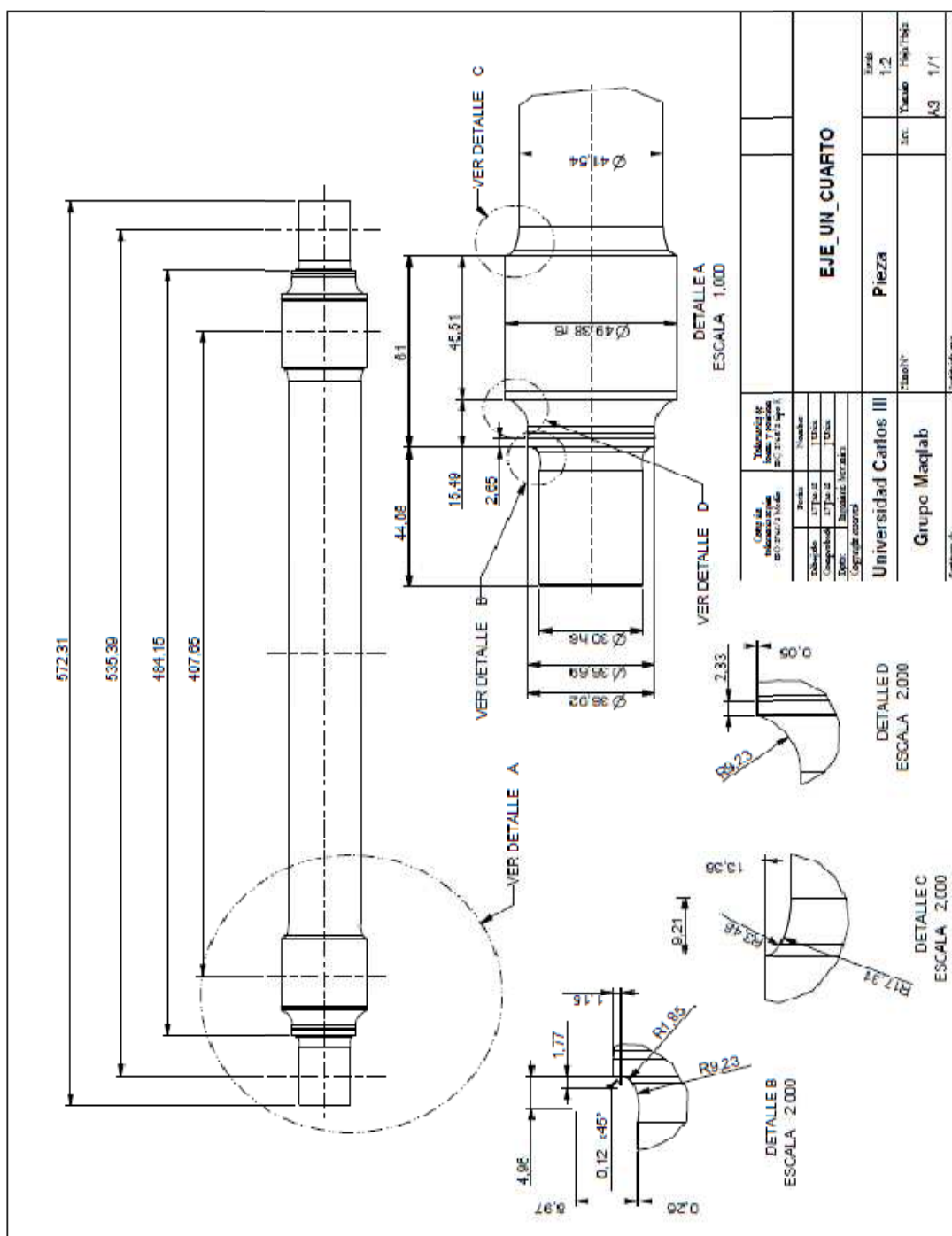


Figura 3.44. Plano del eje 1:4

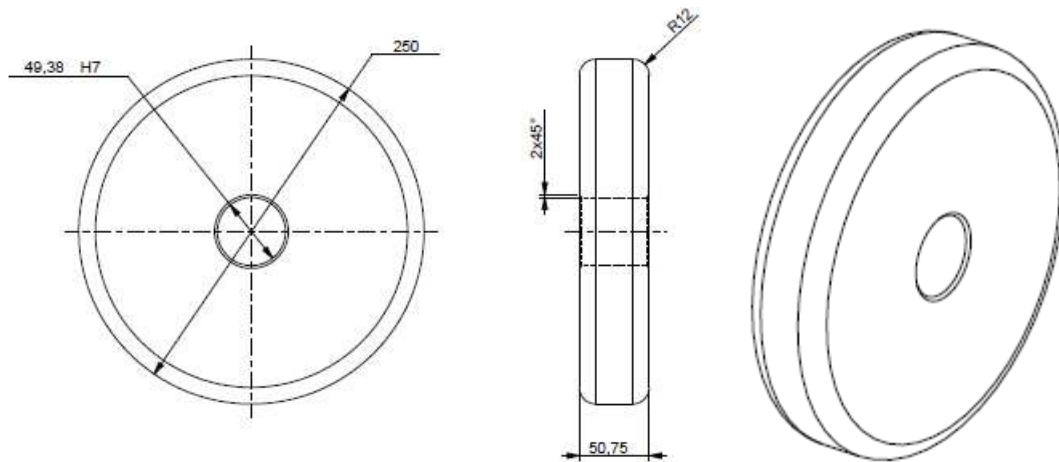


Figura 3.45. Esquema de las ruedas del wheelset

El resultado final de nuestro wheelset (Figura 3.46) como consecuencia de la unión del eje con los 2 discos debe ser el siguiente:

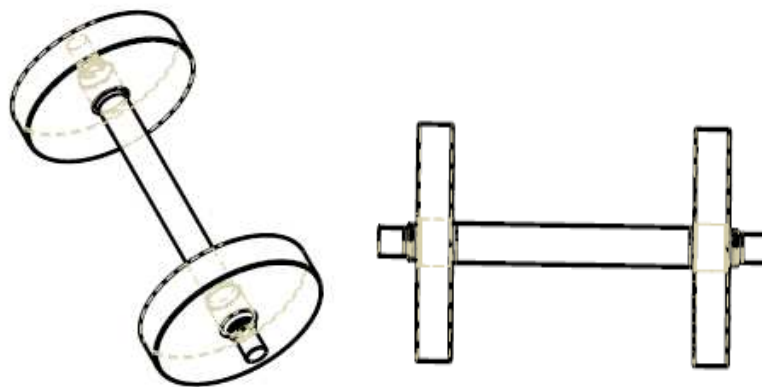


Figura 3.46. Esquema del wheelset entero

El wheelset está sujeto por 2 soportes (Figura 3.47), cuya unión al pórtico se realiza mediante tornillos y tuercas (similar al soporte de los rodillos). Estos soportes poseen en su interior una hilera de rodamientos de bola perfectamente lubricados.

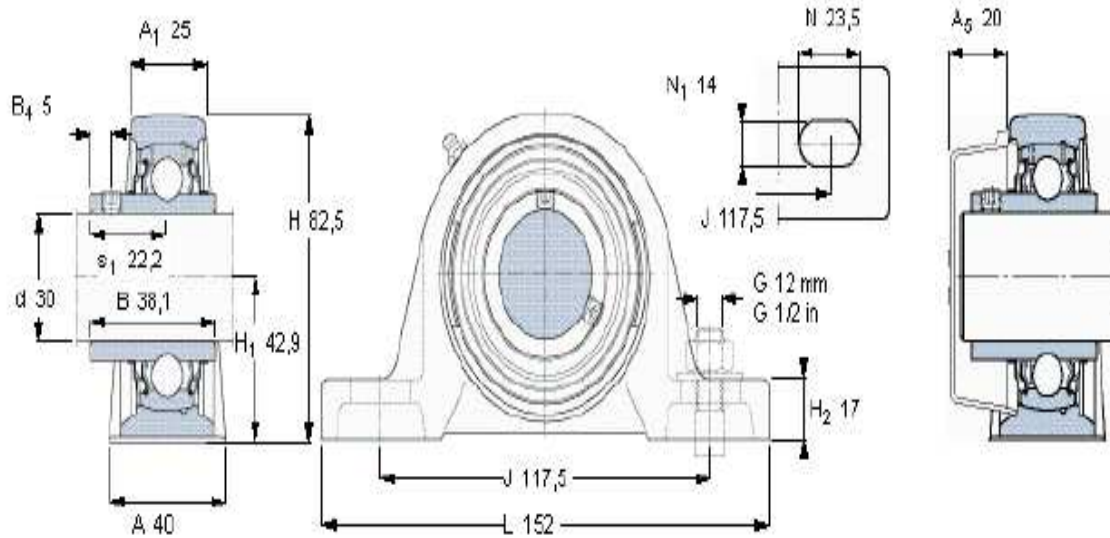


Figura 3.47. Dimensiones del soporte del eje

Con el objetivo de aumentar la seguridad, el wheelset quedará apoyado sobre 2 rodillos (Figura 3.48). Así, en vez de tener un punto de contacto rueda-rodillo como sucede en el binomio real rueda-rail, tendremos 2 puntos de contacto, puesto que cada rueda está en contacto con un rodillo de poliamida y otro de duraluminio. En la imagen, podemos observar el rodillo motriz en oscuro, el cual es de duraluminio, los demás son rodillos locos.

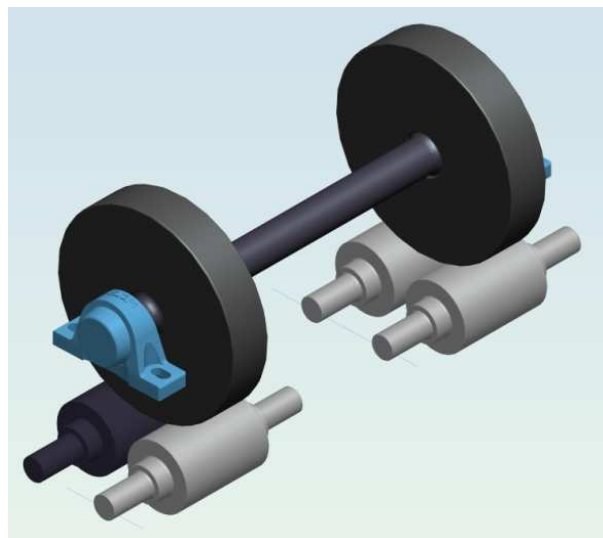


Figura 3.48. Wheelset soportado por los rodillos y cojinetes

Los extremos del eje del wheelset a escala, se introduce en sus respectivos cojinetes (Figura 3.49), cuyas dimensiones encajan perfectamente pues fueron cuidadosamente elegidos:

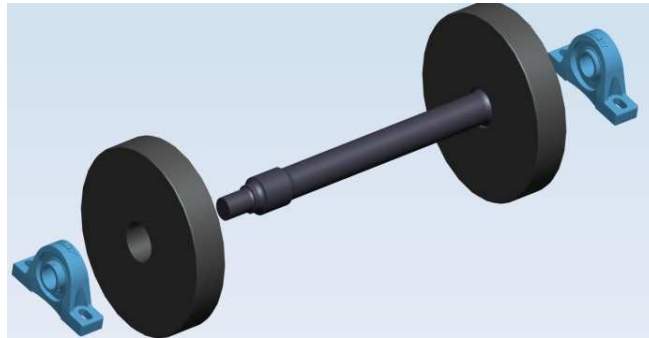


Figura 3.49. Explosionado del eje con sus soportes

Junto al banco, también anclada a la bancada, encontramos una pequeña estructura (Figura 3.50) que soporta al motor, formada por 4 pequeños perfiles de aluminio de dimensiones 40x40 mm unidos por escuadras exteriores con sus tapas correspondientes de la siguiente forma:



Figura 3.50. Foto del motor apoyado

El motor lleva sus propios anclajes mediante una chapa con unos taladros practicados para poder atornillarlo a los perfiles. Curiosamente los silent block que sostenían el motor en su apoyo, han sido retirados, ya que éste, al ser eléctrico no produce vibraciones y los silent block perjudicaban en su funcionamiento debido a cierta inclinación.

## 3.4 DESCRIPCIÓN DE SUBSISTEMAS

### 3.4.1 EL SUBSISTEMA MOTOR

Este dispositivo nos permitirá imponer el régimen de giro del wheelset a escala, suministrando el par necesario para ello. Emplearemos un motor eléctrico instrumentado para realizar el ensayo satisfactoriamente mediante poleas y correa, que transmitirán su movimiento, cuyo tamaño dependerá de la potencia que necesitemos para ello.

Un motor eléctrico transforma energía eléctrica en energía mecánica. Éstos pueden ser de corriente alterna o continua. Se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético.

➤ **Motor de corriente continua:** se compone principalmente de dos partes:

El estator que da soporte mecánico al aparato y tiene un hueco en el centro generalmente de forma cilíndrica. En él, además se encuentran los polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro.

El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, al que llega la corriente mediante dos escobillas.

En conclusión: La principal característica del motor de corriente continua es la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga. Su principal inconveniente, el mantenimiento, muy caro y laborioso.

➤ **Motor de corriente alterna:** Transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos magnéticos variables electromagnéticas. Los principales motores de corrientes alterna son:



A ) *Motores asíncronos o de inducción*. Son los más utilizados. En estos motores eléctricos (Figura 3.51), el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias. Una máquina asíncrona puede funcionar como motor y como generador.

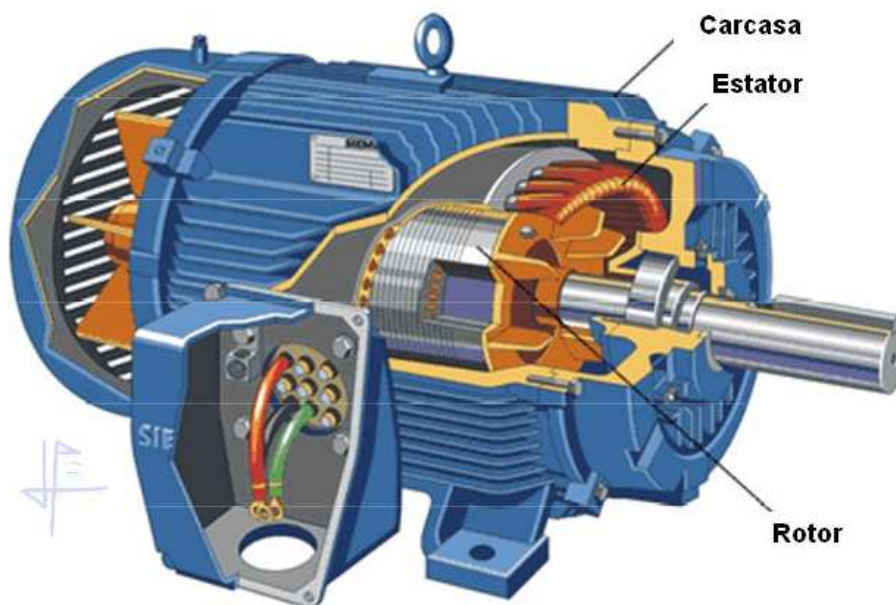


Figura 3.51. Esquema y partes principales de un motor

Encontramos 2 tipos de rotor:

Un *rotor de jaula de ardilla* (Figura 3.52) es la parte que rota usada comúnmente en un motor de inducción de corriente alterna. Un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama "motor de jaula de ardilla". En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula. El nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos y barras y la rueda de un hámster (ruedas probablemente similares existen para las ardillas domésticas)

Anteriormente se usaban rotores con barras conectadas entre sí con tuercas lo que da problemas cuando perdían presión y provocan mal contacto. Esto se mejoró usando jaulas de ardilla sin tuercas, son de material fundido, en el futuro se pretende utilizar cobre en la jaula para mejorar la eficiencia, actualmente se utiliza aluminio.

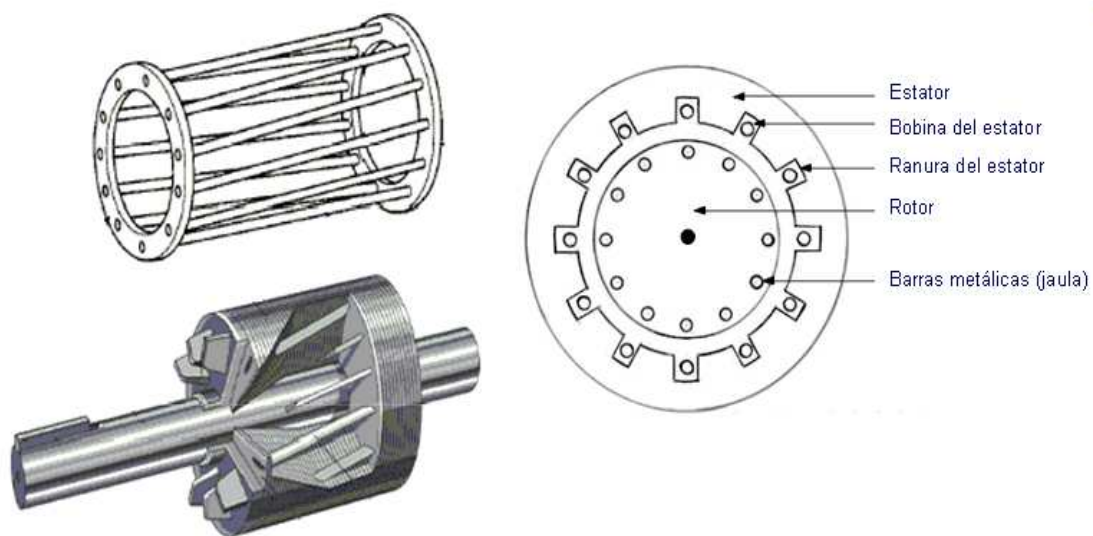


Figura 3.52. Detalle de la jaula de ardilla

El *rotor devanado o bobinado* (Figura 3.53), como su nombre lo indica, lleva unas bobinas que se conectan a unos anillos deslizantes colocados en el eje; por medio de unas escobillas se conecta el rotor a unas resistencias que se pueden variar hasta poner el rotor en corto circuito al igual que el eje de jaula de ardilla.

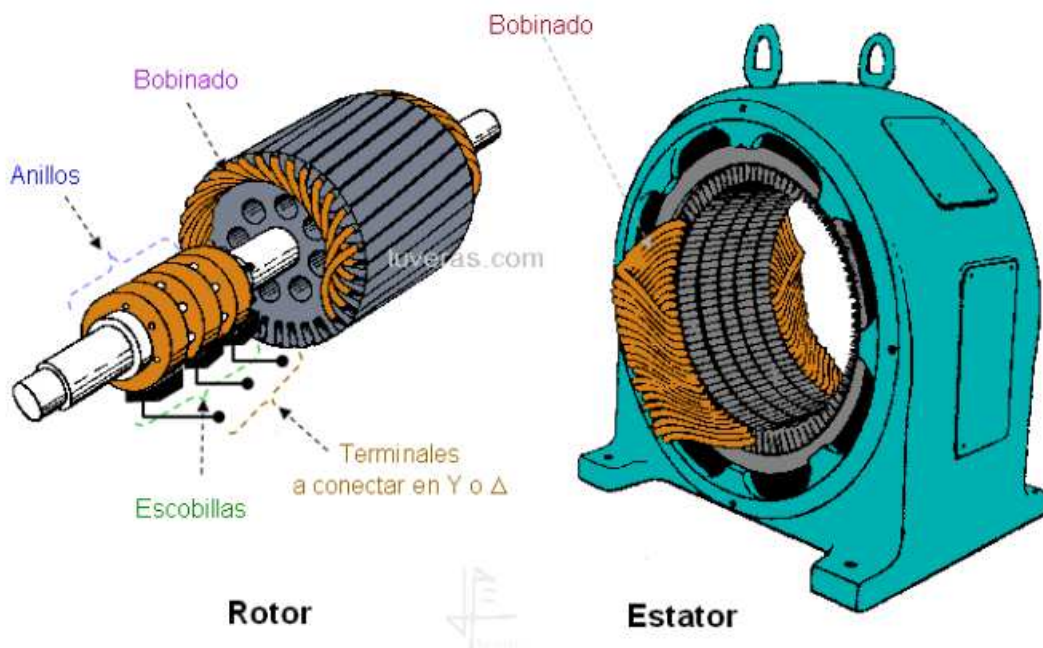


Figura 3.53. Rotor devanado y estator

*B) Motores síncronos.* Se caracterizan porque el campo magnético inductor es fijo. Las piezas polares están alimentadas con corriente continua, mientras que a las bobinas del inducido se suministra corriente alterna, en cada conductor del inducido, en su giro, debe invertirse el sentido de la corriente que lo recorre, tantas veces como polos haya. Para conseguir esto, la corriente alterna que se suministra al inducido debe tener un número de períodos, por cada revolución, igual al número de pares de polos. Al ser la frecuencia y los pares de polos constantes, se deduce que el número de revoluciones será siempre el mismo. Por eso se llaman síncronos.

Dada la alta frecuencia de la corriente alterna suministrada, no es posible que el motor sea capaz de iniciar el movimiento por sí solo y alcanzar el arranque necesario para vencer su inercia. Por esta razón, el motor síncrono necesita una fuerza exterior que lo ponga en marcha, usando normalmente motores auxiliares u otro arrollamiento al estator.

El motor elegido es de corriente continua, de la marca Marathon Electric, modelo D395, con un peso de 13,6kg, capaz de alcanzar un régimen de 3600 rpm regulándolo con un variador de frecuencia y con 1,49 kw de potencia. Es trifásico ya que tienen una carga equilibrada, es decir, consumen lo mismo en las tres fases y está conectado en estrella. Las tensiones en cada fase en este caso son iguales al resultado de dividir la tensión de línea por raíz de tres.

Model	Cat No	Norm Stocked	HP		RPM		Encl	Frame	Mount	Phase	Hertz		Voltage	
			Hz1	Hz2	Hz1	Hz2					Hz1	Hz2	Hz1	Hz2
056T34F5305	D395	Y	2	1 1/2	3600	3000	TEFC	56HC	C-Face - Removable Base	3	60	50	208-230/460	190/380

Figura 3.54. Motor elegido

El motor (Figura 3.55) posee una chapa adaptada con 4 taladros para facilitar su fijación a su subestructura soporte, además de unos silent block que fueron retirados, lo cual ya explicaremos.

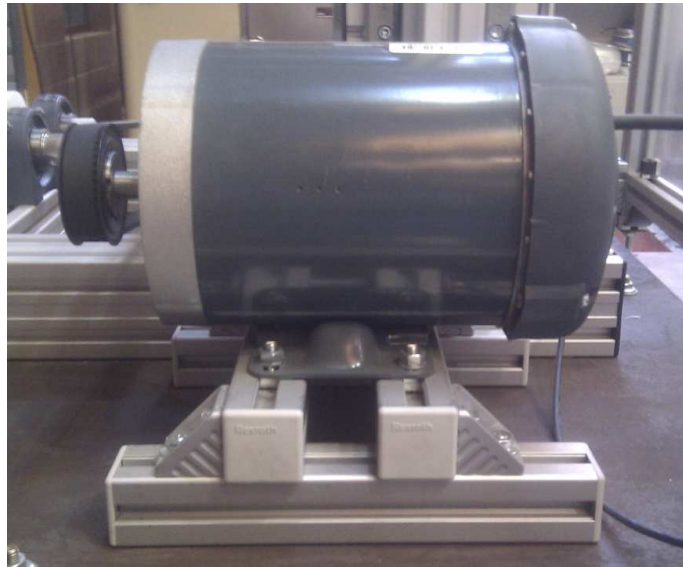


Figura 3.55. Fotografía del motor elegido

Las características de dicho motor son mostradas en la siguiente tabla:

*** Motor Nameplate Shows 60 and 50 Hertz Information ***									
60 Hertz					50 Hertz				
HP	2	Voltage	208-230/460		HP	1 1/2	Voltage	190/380	
kW	1.49	FL Amps	6-6/3		kW	1.12	FL Amps	5.6/2.8	
RPM	3600				RPM	3000			
FL Eff	80 %	SF	1.15		FL Eff	80 %	SF	1.15	
Phase 3					Insulation Class F				
Frame 56HC					Duty CONTINUOUS				
Enclosure TEFC					Ambient 40				
Mounting C-Face - Removable Base					NEMA Design B				
Orientation HORIZONTAL OR UP OR DOWN					Starting Type ACROSS THE LINE				
Assembly F1 ONLY					KVA Code L				
Drive End Bearing BALL					IP Code 43				
Opposite End Bearing BALL									
Drive End Bearing Size 6203									
Opposite End Bearing Size 6203									
Weight 30 LB lbs									
CE Y					CSA Y				
UL Recognized Construction									
Thermal Protection									

Figura 3.56. Resumen de características del motor

Para elegir el motor, es fundamental tener en cuenta los siguientes factores:

- Suministro de energía: estará conectado a una fuente común de 220v.
- Tipo de cierre: actualmente el estándar predominante para aplicaciones industriales es el motor totalmente cerrado por una carcasa con refrigeración por ventilador.
- Velocidad: El motor de inducción es una máquina fija a velocidad única, su velocidad depende de la frecuencia del suministro de energía y del diseño de devanado del estator. Para poder controlar la velocidad hemos instalado un variador de frecuencia. Para un motor cuyo número de polos es 2 y una frecuencia dada de 60Hz, se cumple la siguiente fórmula:

$$velocidad = \frac{Frec \times 120}{N^{\circ} polos} = \frac{60Hz \times 120}{2} = 3600rpm$$

Si suponemos una velocidad media de 90 km/h del tren:

Velocidad (km/h)	Velocidad (m/s)	Diámetro (mm)	Radio (mm)	Radio (m)	Velocidad angular (rad/s)	Frecuencia (Hz)	Velocidad (rpm)
90,00	25,00	1250,00	625,00	0,63	40,00	6,37	381,97

Figura 3.57. Tabla de velocidades

- Carga: El motor tiene que ser capaz de mover el rodillo motriz que hace girar el eje a escala. El movimiento se transmite mediante una correa dentada de caucho y 2 poleas.

	Carga por eje (ton)	Carga por mangueta (ton)	Carga por mangueta (kg)	Fuerza en cada mangueta (N)
Escala 1:1	25	12,5	12500	122625,00
Escala 1:4,3	0,307244232	0,153622116	153,62	1507,03

Figura 3.58. Tabla de cargas

Estos motores necesitan un variador de frecuencia (Figura 3.60) para poder controlar su velocidad y funcionamiento. El variador de frecuencia elegido es de la marca Lence AC Tech, modelo SMV IP31 y tipo el indicado en la siguiente tabla:

#### Modelos de 240V CA / duplicador de 120V CA

Tipo	Potencia [Hp/kW]	Red de alimentación			Corriente de salida		Pérdida de vatios
		Voltaje <sup>(1)</sup>	I <sub>in</sub> (120V)	I <sub>in</sub> (240V)	I <sub>n</sub>	CLim <sub>max</sub> <sup>(2)</sup> (Limite de corriente máximo)	
ESV251N01SXB	0,33 / 0,25	Monofásica 120V (1/N/PE) (90 ... 132 V) o monofásica 240V (2/PE) (170 ... 264 V)	6,8	3,4	1,7	200	24
ESV371N01SXB	0,5 / 0,37		9,2	4,6	2,4	200	32
ESV751N01SXB	1 / 0,75		16,6	8,3	4,2	200	52

Figura 3.59.Variador de frecuencia elegido



Figura 3.60. Foto del variador de frecuencia

Cómo ya expliqué en la parte de la carcasa, el variador va atornillado a una placa de acero (Figura 3.61) sostenida por dos pequeños perfiles de aluminio que a su vez se unen a la carcasa mediante dos escuadras exteriores en una arista lateral de ésta, para facilitar su manejo.



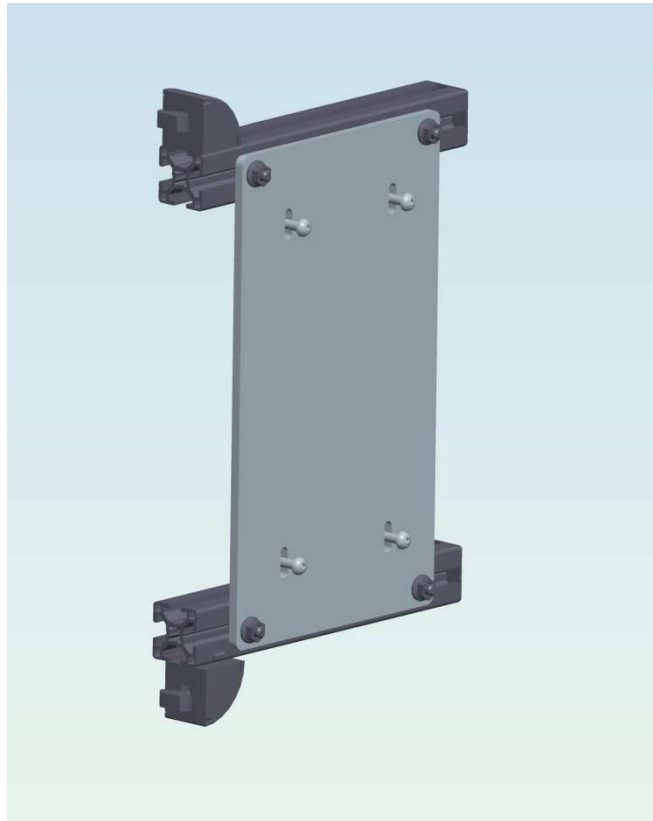


Figura 3.61. Detalle de la subestructura del variador

El material de esta placa soporte del variador, es acero ST37, cortado con láser y con 4 taladros practicados para fijar la carcasa del variador y otros 4 para unirla a los perfiles mediante tornillos de cabeza de martillo.

Las dimensiones del variador de frecuencia (Figura 3.62) vienen indicadas en la siguiente imagen, necesarias para el diseño del soporte con sus correspondientes taladros.

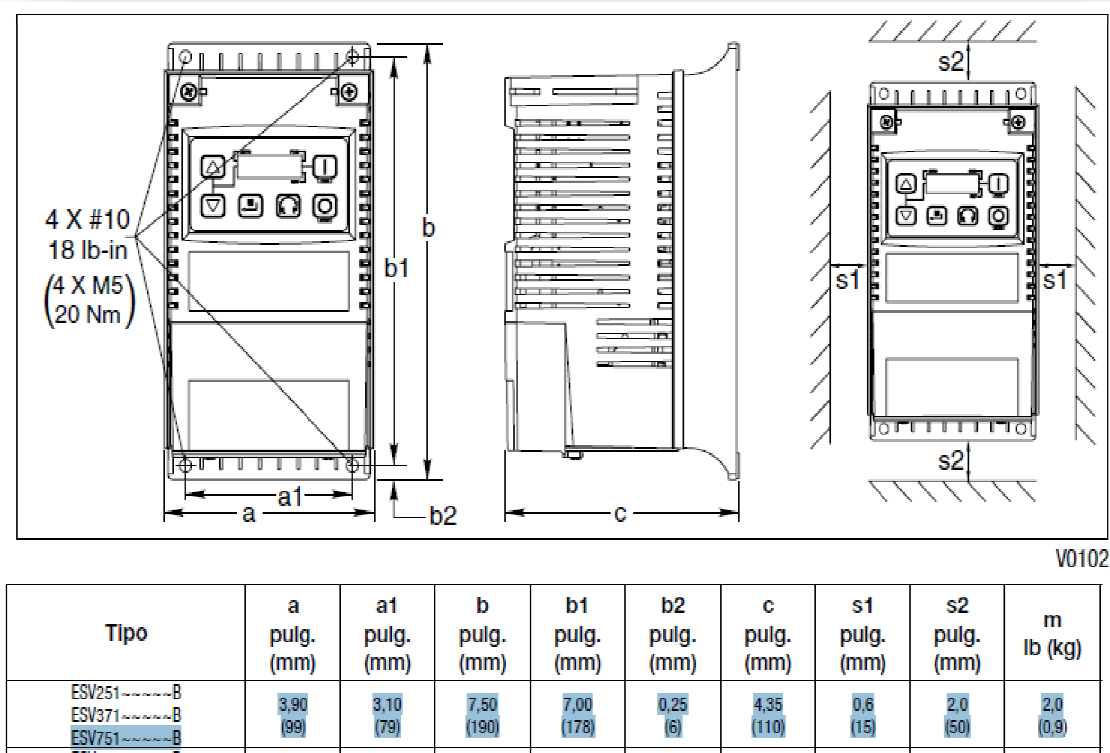


Figura 3.62. Dimensiones del variador de frecuencia

El variador posee un sencillo teclado (Figura 3.63) con 6 botones y una pantalla con un display para poderlo manejar fácilmente.

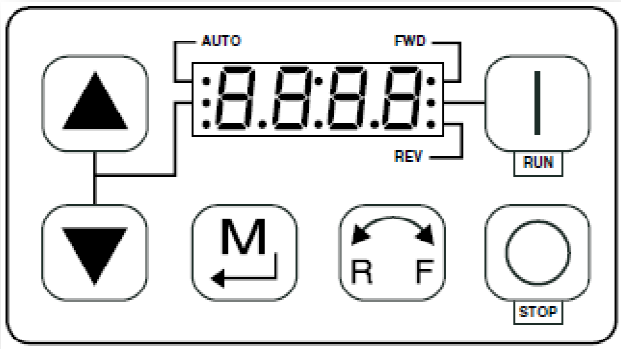









Figura 3.63. Teclado del variador de frecuencia

El manejo del variador es muy sencillo, en la siguiente figura se describe la función de cada uno de los 6 botones comentados:

	<b>BOTÓN DE ARRANQUE:</b> En modo local ( $P100 = 0, 4$ ), este botón pondrá en marcha el accionamiento.
	<b>BOTÓN SUPERIOR:</b> para el accionamiento, independientemente del modo que el accionamiento tenga seleccionado.
	<b>¡AVISO!</b> Cuando JOG (marcha en impulsos) está activado, el botón de parada STOP parará el accionamiento
	<b>ROTACIÓN:</b> En modo local ( $P100 = 0, 4$ ), esto selecciona la dirección de rotación del motor: <ul style="list-style-type: none"> <li>- El LED para la dirección de rotación actual (AVANCE o RETROCESO) estará conectado</li> <li>- Pulse R/F; el LED para la dirección de rotación opuesta parpadeará</li> <li>- Pulse M antes de transcurrir 4 segundos para confirmar el cambio</li> <li>- El LED de dirección intermitente se encenderá y el otro LED se apagará</li> </ul> <p>Cuando se cambia la dirección de rotación mientras el accionamiento funciona, el LED de la dirección comandada parpadeará hasta que el accionamiento controle el motor en la dirección seleccionada.</p>
	<b>MODOS:</b> Sirve para entrar/salir del menú de Parámetros cuando se programa el accionamiento y para introducir un cambio
	<b>BOTONES ARRIBA Y ABAJO:</b> Sirven para programar y también pueden utilizarse como referencia para la velocidad, el punto de consigna PID (proporcional-integral-derivativo) o el punto de consigna del par motor.
	Cuando los botones ▲ y ▼ on la referencia activa, el LED central en el lado izquierdo de la pantalla estará encendido.

**LEDs INDICADORES**

LEDs FWD/REV (avance/retroceso): Indican la dirección de rotación actual. Véase ROTACIÓN más arriba.

LED AUTO: Indica que el accionamiento ha entrado en el modo Automático a partir de una de las entradas TB13 ( $P121 \dots P123$  ajustado a  $1 \dots 7$ ).

También indica que el modo PID está activado (si está habilitado).

LED RUN (funcionamiento): Indica que el accionamiento está funcionando.

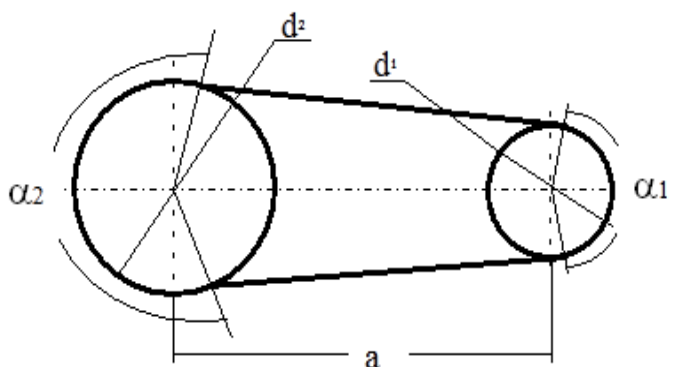
LED ▲ ▼ Indica que ▲ ▼ son la referencia activa.

Figura 3.64. Instrucciones de funcionamiento del variador

### 3.4.2 EL SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN

Para poder transmitir el movimiento del motor al rodillo motriz, necesitamos 2 poleas, una en el eje del motor y otra en dicho rodillo, ambas ancladas con un casquillo.

Jugando con el tamaño de la polea del motor se podían conseguir relaciones de transmisión más elevadas. Actualmente la relación de transmisión es 1:2. El siguiente esquema nos ayudara a comprender dicho mecanismo:



En la figura 1 son identificados los parámetros geométricos básicos de un transmisión por correas, siendo:

- |  |  |
|--|--|
| 1 - Polea menor.                                   | a - Distancia entre centros de poleas.                 |
| 2 - Polea mayor.                                   | d <sub>1</sub> - Diámetro primitivo de la polea menor. |
| $\alpha_1$ - Ángulo de contacto en la polea menor. | d <sub>2</sub> - Diámetro primitivo de la polea mayor. |
| $\alpha_2$ - Ángulo de contacto en la polea mayor. |  |

Figura 3.65. Esquema de la correa

El sistema de transmisión de movimiento del motor al rodillo motriz es una transmisión elástica mediante una correa trapezoidal que encaja perfectamente en las poleas, evitando deslizamientos, cuyo material es caucho. Las principales dimensiones de la correa (Figura 3.66) de la marca GATES son:

## 950-5M-15

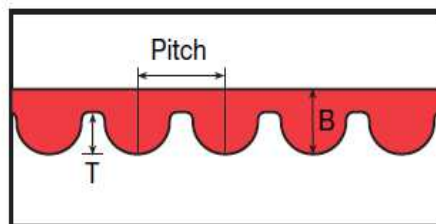
950....Longitud en mm

5M....Distancia entre dientes "pitch"

15.....Ancho de la correa en mm

### REFERENCE DIMENSIONS

	Pitch mm	T mm	B mm
3M	3.0	1.17	2.41
5M	5.0	2.08	3.81
8M	8.0	3.40	5.60
14M	14.0	6.00	10.00
20M	20.0	8.40	13.20



5M	Pitch: 5 mm	
Length and pitch designation	Pitch length mm	Number of teeth
535-5M	535	107
550-5M	550	110
560-5M	560	112
565-5M	565	113
575-5M	575	115
580-5M	580	116
600-5M	600	120
610-5M	610	122
615-5M	615	123
635-5M	635	127
640-5M	640	128
645-5M	645	129
665-5M	665	133
670-5M	670	134
695-5M	695	139
700-5M	700	140
710-5M	710	142
720-5M	720	144
740-5M	740	148
750-5M	750	150
755-5M	755	151
770-5M	770	154
775-5M	775	155
800-5M	800	160
825-5M	825	165
835-5M	835	167
860-5M	860	172
870-5M	870	174
890-5M	890	178
900-5M	900	180
925-5M	925	185
935-5M	935	187
940-5M	940	188
950-5M	950	190
965-5M	965	193
980-5M	980	196

Figura 3.66. Dimensiones de la correa

Como podemos observar en las tablas, nuestra correa tiene 190 dientes.

Para soportar al eje de forma estática y dinámicamente, además de los rodillos, tenemos 2 cojinetes situados en los pórticos a cada extremo del wheelset, de la marca SKF modelo SY 30 TR (Figura 3.67), en cuyo interior se aprecia una hilera de rodamientos de bola (Figura 3.68) para permitir el perfecto movimiento.



Figura 3.67. Soporte de los rodillos

En la siguiente imagen podemos observar el interior de estos soportes, perfectamente lubricados para asegurar su funcionamiento:

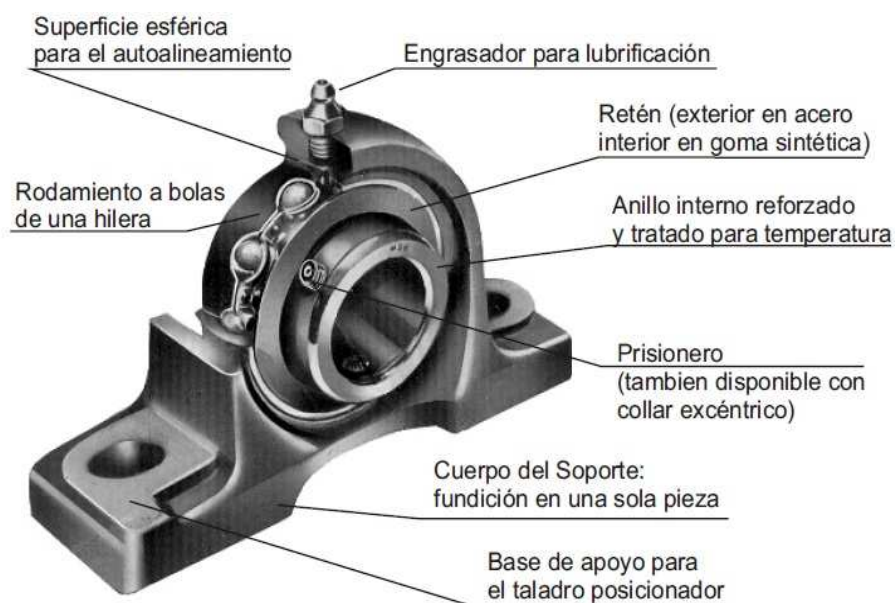


Figura 3.68. Soportes del eje



El eje encaja perfectamente en estos soportes, elegidos por sus dimensiones y propiedades, los cuales permiten su giro. A continuación, en la siguiente tabla, se detallan todas las dimensiones:

Soportes de pie con rodamientos Y, soporte de fundición, prisionero											
Dimensiones					Capacidades de carga dinámica    estática		Velocidad límite con eje de tolerancia h6	Masa	Designaciones		
d	A	H	H <sub>1</sub>	L	C	C <sub>0</sub>			Unidad de rodamiento	Soporte	Rodamiento
mm					kN		rpm	kg	-		
23,813	36	66,9	33,35	130	14	7,8	7000	0,73	SYH 15/16 RM	SYH 505 U	YAT 205-015
23,813	36	66,9	33,35	130	14	7,8	7000	0,77	SYH 15/16 TF	SYH 505 U	YAR 205-015-2F
23,813	36	70	36,5	130	14	7,8	7000	0,63	SY 15/16 RM	SY 505 U	YAT 205-015
23,813	36	70	36,5	130	14	7,8	7000	0,69	SY 15/16 TF	SY 505 U	YAR 205-015-2F
25	36	70,5	36,5	130	14	7,8	7000	0,72	SY 25 TF	SY 505 M	YAR 205-2F
25	36	70,5	36,5	130	14	7,8	4300	0,72	SY 25 TR	SY 505 M	YAR 205-2RF
25	38	70,5	36,5	140	14	7,8	7000	0,73	SYJ 25 TF	SYJ 505	YAR 205-2F
25,4	36	66,9	33,35	130	14	7,8	7000	0,73	SYH 1. RM	SYH 505 U	YAT 205-100
25,4	36	66,9	33,35	130	14	7,8	7000	0,77	SYH 1. TF	SYH 505 U	YAR 205-100-2F
25,4	36	70	36,5	130	14	7,8	7000	0,69	SY 1. RM	SY 505 U	YAT 205-100
25,4	36	70	36,5	130	14	7,8	7000	0,72	SY 1. TF	SY 505 U	YAR 205-100-2F
25,4	36	70,5	36,5	130	14	7,8	4300	0,72	SY 1. TR	SY 505 M	YAR 205-100-2RF
25,4	38	70,5	36,5	140	14	7,8	7000	0,73	SYJ 1. TF	SYJ 505	YAR 205-100-2F
26,988	40	79,8	39,7	152	19,5	11,2	6300	1,36	SYH 1.1/16 TF	SYH 506 U	YAR 206-101-2F
26,988	40	82	42,9	152	19,5	11,2	6300	1,2	SY 1.1/16 TF	SY 506 U	YAR 206-101-2F
28,575	40	79,8	39,7	152	19,5	11,2	6300	1,25	SYH 1.1/8 RM	SYH 506 U	YAT 206-102
28,575	40	79,8	39,7	152	19,5	11,2	6300	1,32	SYH 1.1/8 TF	SYH 506 U	YAR 206-102-2F
28,575	40	82	42,9	152	19,5	11,2	6300	1,18	SY 1.1/8 RM	SY 506 U	YAT 206-102
28,575	40	82	42,9	152	19,5	11,2	6300	1,18	SY 1.1/8 TF	SY 506 U	YAR 206-102-2F
30	40	82,5	42,9	152	19,5	11,2	6300	1,1	SY 30 TF	SY 506 M	YAR 206-2F
30	40	82,5	42,9	152	19,5	11,2	3800	1,1	SY 30 TR	SY 506 M	YAR 206-2RF
30	42	82,5	42,9	165	19,5	11,2	6300	1,05	SYJ 30 TF	SYJ 506	YAR 206-2F
30,163	40	79,8	39,7	152	19,5	11,2	6300	1,25	SYH 1.3/16 RM	SYH 506 U	YAT 206-103
30,163	40	79,8	39,7	152	19,5	11,2	6300	1,32	SYH 1.3/16 TF	SYH 506 U	YAR 206-103-2F
30,163	40	82	42,9	152	19,5	11,2	6300	1,11	SY 1.3/16 RM	SY 506 U	YAT 206-103

Figura 3.69. Tabla de soportes

En el caso de los soportes de los rodillos, se ha elegido el mismo tipo de soporte pero con distintas dimensiones, acordes con las propias del eje de dichos elementos, así el modelo elegido de la misma marca es: SYF 30 TF.

En cuanto al sistema de rodillos, hay uno motriz animado por el motor que hará girar el eje y los otros tres son locos. Para simular mejor el contacto meta-metal en un punto, como sucede en la realidad, sus materiales son 2 de poliamida y los otros 2 de duraluminio (Figura 3.70).

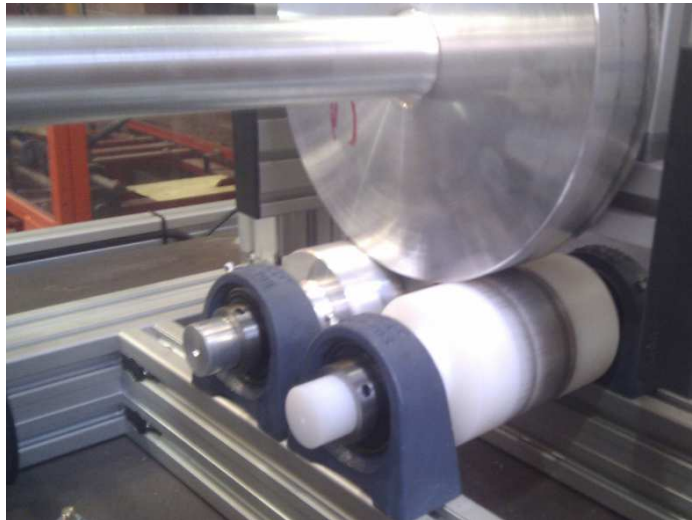


Figura 3.70. Foto del contacto rueda-rodillos

Cada pareja de rodillos soporta una rueda del wheelset (Figura 3.71), siendo uno de aluminio el rodillo motriz que transmite el giro a nuestro eje.

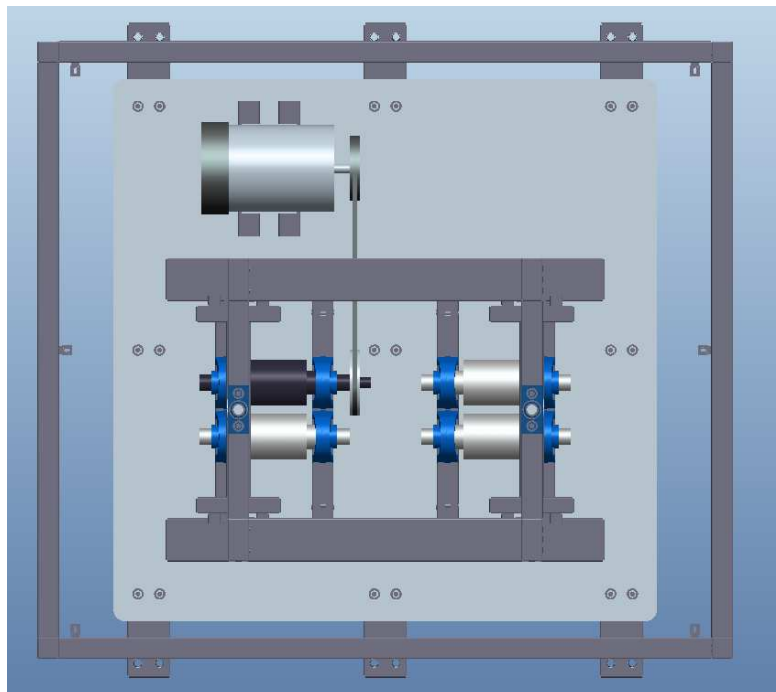


Figura 3.71. Vista superior del banco



### 3.4.3 EL SUBSISTEMA DE CARGA

Para regular las condiciones de carga a las deseadas en el ensayo, el banco posee 2 células de carga situadas encima de cada pórtico (Figura 3.72). La regulación se realiza girando las tuercas del tornillo de carga manualmente, hasta que el visor indique la carga apropiada al ensayo que se desea realizar, según se muestra en la siguiente figura:



Figura 3.72. Foto de la célula de carga en el banco

Dichas células (Figura 3.73), van conectadas a un display, son de la marca Senel, modelo SX2, con una capacidad de hasta 500 kg cada una:



Figura 3.73. Célula de carga

Mediante un visor de carga con un display (Figura 3.74), también de la marca Senel, modelo VN-1, cuya unidad es el kg, podemos saber cuál es la carga elegida:



Figura 3.74. Visor de cargas

Este subsistema se completa con el cableado correspondiente para realizar las conexiones necesarias, el cual veremos a continuación.

### 3.4.4 EL SUBSISTEMA DE MEDIDA

Está compuesto por una serie de equipos particulares conectados entre sí con la implicación de otros subsistemas para poder hacer las medidas oportunas y necesarias, objetivo de este banco de ensayos.

En la siguiente figura se muestra un esquema de las conexiones (Figura 3.75) y disposición de los diferentes equipos necesarios para registrar la señal de la vibración, objetivo de un análisis posterior.

1. Acelerómetros
2. Ordenador + software de análisis
3. Cableado
4. Displays
5. Amplificador de señal
6. Tarjeta de adquisición de datos

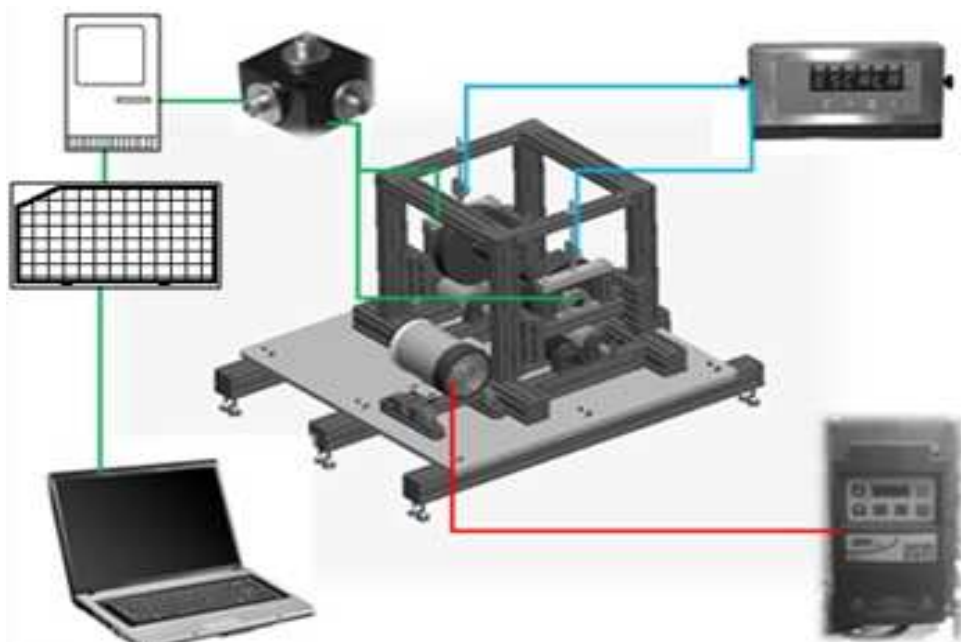


Figura 3.75 .Esquema de conexiones

## ➤ ACELERÓMETRO

Encima de cada cojinete del eje o del pórtico, irán situados los acelerómetros triaxiales y de tipo piezoeléctricos para la correcta medición de las vibraciones, ya que presentan una menor sensibilidad a las interferencias electromagnéticas. Ambos son de marca Brüel&Kjær, modelo 4321, cuyas características son:

Modelo	Brüel & Kjær 4382	Brüel & Kjær 4383	Brüel & Kjær 4321 V	Brüel & Kjær 4374	Brüel & Kjær 4374
Características					
<b>Tipo de acelerómetro</b>	Aplicación general	Aplicación general	Triaxial	Miniatura	Miniatura
<b>Tipo de elemento sensor</b>	Piezoeléctrico tipo PZ 23 (titanio ASTM grado 2)	Piezoeléctrico tipo PZ 23 (titanio ASTM grado 2)	Piezoeléctrico tipo PZ 23 (titanio ASTM grado 2)	Piezoeléctrico tipo PZ 27 (berilio)	Piezoeléctrico tipo PZ 27 (berilio)
<b>Peso</b>	17 gramos	17 gramos	55 gramos	0.65 gramos	0.65 gramos
<b>Sensibilidad de referencia</b>	3.17 $\text{pC/ms}^{-2}$	3.152 $\text{pC/ms}^{-2}$	x 0.983 $\text{pC/ms}^{-2}$ y 0.983 $\text{pC/ms}^{-2}$ z 0.975 $\text{pC/ms}^{-2}$	0.124 $\text{pC/ms}^{-2}$	0.113 $\text{pC/ms}^{-2}$
<b>Sensibilidad transversal</b>	2.2 %	0.3 %	x < 5 % y < 5 % z < 5 %	1.4 %	3.4 %
<b>Frecuencia de resonancia</b>	$\approx 27 \text{ kHz}$	26.2 kHz	x 37.8 kHz y 36.6 kHz z 40.4 kHz	$\approx 85 \text{ kHz}$	$\approx 85 \text{ kHz}$
<b>Frecuencia de resonancia transversal</b>	10 kHz	10 kHz	x 14 kHz y 14 kHz z 14 kHz	21 kHz	21 kHz

Modelo	Brüel & Kjær 4382	Brüel & Kjær 4383	Brüel & Kjær 4321 V	Brüel & Kjær 4374	Brüel & Kjær 4374
Características					
Rango de frecuencia	0.1 Hz 8.5 kHz	0.1 Hz 8.4 kHz	<div> <div>0.1 Hz 12 kHz</div> <div>x</div> <div>0.1 Hz 12 kHz</div> <div>y</div> <div>0.1 Hz 12 kHz</div> <div>z</div> </div>	1 Hz 26 kHz	1 Hz 26 kHz
Rango de medida de aceleración	± 2000 g de pico	± 5000 g de pico	± 1000 g de pico	± 25000 g de pico	± 25000 g de pico
Rango de temperaturas	-74 a +250 °C	-74 a +250 °C	-74 a +250 °C	-74 a +250 °C	-74 a +250 °C
Capacidad del transductor	1165 pF	1100 pF	1100 pF	656 pF	610 pF
Resistencia del transductor	> 20 G $\Omega$	> 20 G $\Omega$	> 20 G $\Omega$	> 20 G $\Omega$	> 20 G $\Omega$
Tipo de conexión	En cabeza	Lateral	Lateral	Lateral	Lateral

Figura 3.76. Tabla de características del acelerómetro

En la figura 3.77, podemos observar el acelerómetro y sus cometidas dimensiones, de forma que se pueda instalar perfectamente en nuestro banco:

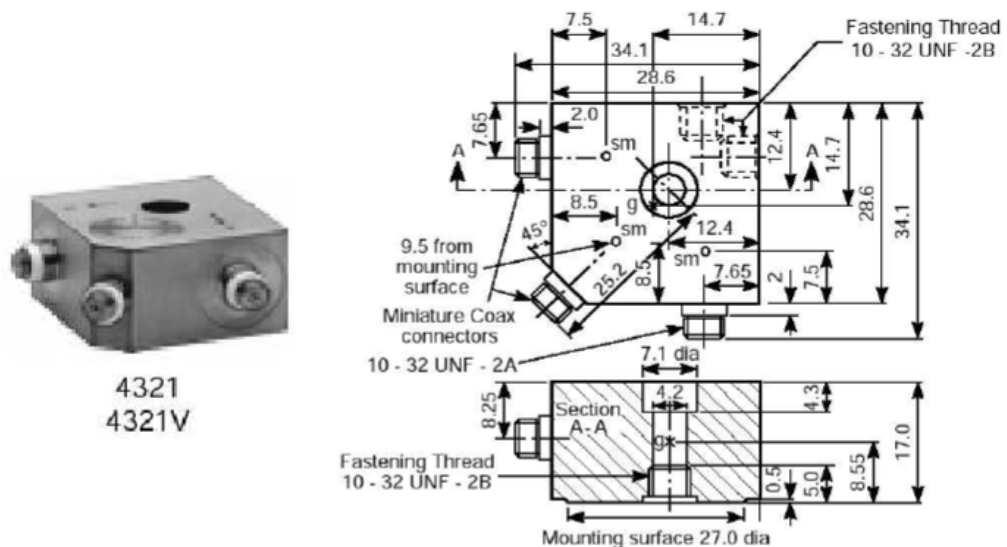


Figura 3.77. Acelerómetro y sus dimensiones

## ► DISPLAYS

Cada acelerómetro va conectado a un display (Figura 3.78), componente común al subsistema de carga también, cuya función es informar de la carga suministrada por la célula de carga, los cuales como ya he nombrado anteriormente, son de la marca Senel modelo VN1, el cual proporciona una lectura clara y sencilla:

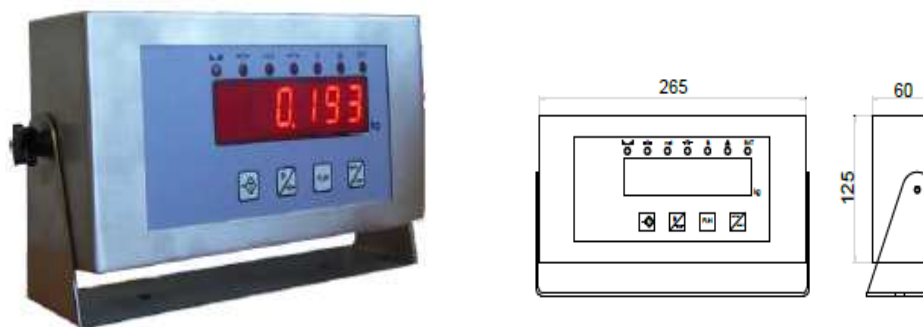


Figura 3.78. Display y sus dimensiones

Las características de este display vienen indicadas en la siguiente tabla:

Clase de precisión	III y IIII
Número de escalones	$\leq 10000$
Tensión de excitación de la célula de carga	8 VDC
Margen de tensión de señal para carga muerta	0 a 16 mV
Tensión mínima por escalón de verificación	1 $\mu$ V
Rango de tensión de medida	10 a 24 mV
Rango de resistencia de célula de carga	40 a 2000 $\Omega$
Margen de temperatura compensado	-10 a 40 °C
Tensión de alimentación	220 VAC
Tensión de alimentación (equipos batería)	12 o 24 VDC
Sistema sense	Disponible
Longitud del cable en sistema de 4 hilos	5m/mm
Longitud del cable en sistema de 6 hilos	ilimitado

Figura 3.79. Resumen características del display

## ➤ AMPLIFICADOR DE SEÑAL

Es el encargado de amplificar la señal captada por el acelerómetro (Figura 3.80 y 3.81), es del tipo multicanal de la marca Nexus, modelo B&K 2693 y cuyas características son las siguientes:

- ✓ Posee 4 canales
- ✓ La curva para aceleración es lineal desde una frecuencia próxima a 0, 1 Hz hasta 140 kHz.
- ✓ Dispone de un “display” de barras, para ver la magnitud de la vibración, lo que permite un mejor ajuste de escala.
- ✓ Permite la opción de compensar la longitud del cable.

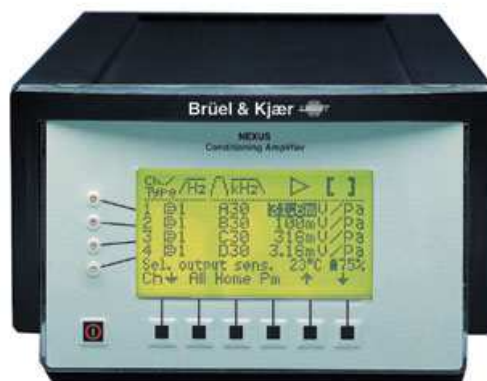


Figura 3.80. Amplificador Nexus



Figura 3.81. Parte trasera del amplificador



## ➤ TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Para medir las vibraciones utilizamos una tarjeta digitalizadora multicanal (Figura 3.83) que se encarga de transformar las señales analógicas en señales digitales o discretas. El rango de frecuencias del sistema de adquisición de datos abarca desde 0.1 Hz hasta 1Mhz.

El paquete informático de adquisición de datos consta de:

- ✓ Tarjeta DAS-1200 Series Board, de la marca Keithley, de 8 canales.
- ✓ Caja de conexiones multicanal STP-37.
- ✓ Bus Keithley que permite la unión de la tarjeta con la computadora.



Figura 3.82. Tarjeta de adquisición de datos





## **CAPITULO 4:**

# MODELADO DEL BANCO DE ENSAYOS



## 4.1 INTRODUCCION

Con la finalidad de conseguir un modelo virtual del banco de ensayos, que permita realizar todo tipo de análisis, sin tener que actuar directamente sobre él, y la posibilidad de realizar modificaciones, animaciones, explosiones, etc. Se ha realizado un modelado realista en el software CAD/CAM/CAE ***Pro-Engineer Wildfire 5***. Definiremos estos 3 términos:

- CAD: “Computer Aided Design”, las herramientas CAD se utilizan solo en la fase de diseño, es decir, genera información en formato geométrico.
- CAM: “Computer Aided Manufacturing”, capaz de generar automáticamente a partir de la geometría proveniente del sistema CAD programas CNC para esa pieza.
- CAE “Computer Aided Engineering”, nos permite validar el diseño mediante distintos análisis de tipo estructural, fatiga, cinemático, dinámico, térmico, etc.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS DE PRO ENGINEER

Este programa es una solución integrada para 3D/ CAM/CAE/CAD, perteneciente a la compañía PTC Parametric Technology Corporation, ofreciendo a los usuarios novedosas opciones de diseño mejores que las tradicionales y con ello un proceso de desarrollo del producto más rápido y eficiente. La competencia más directa son los programas como CATIA, Solid Edge y Solid Works.

Es una herramienta CAD integrada, es decir, que mezcla módulos de diseño puro y la capacidad de realizar cálculos de diseño, animación, cinemática, etc.

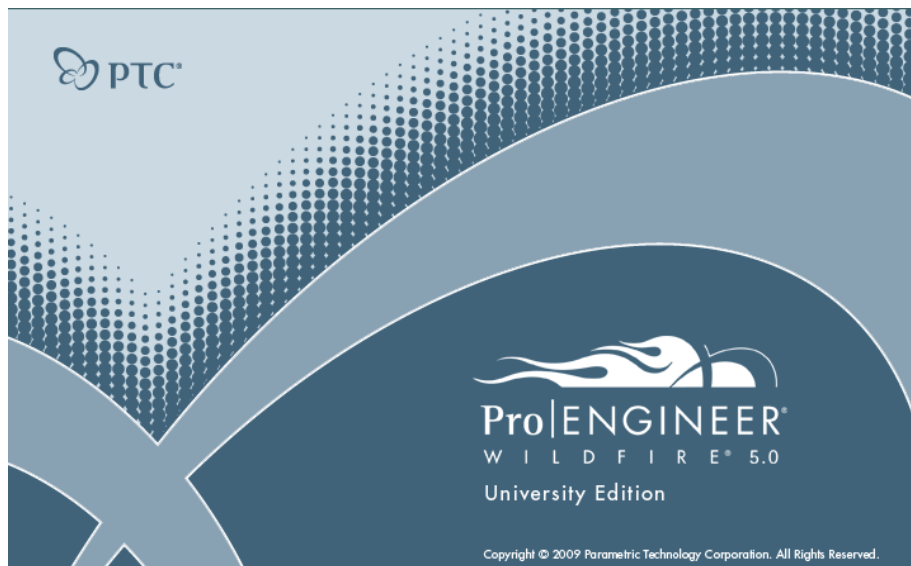


Figura 4.1. Pantalla de inicio Pro-Engineer

Pro-Engineer Wildfire (Figura 4.1) es una solución reconocida para el diseño 3D, ingeniería, modelado y desarrollo de productos industriales. Las amplias capacidades del sistema permiten a los ingenieros desarrollar productos de acuerdo con las necesidades del cliente, en lugar de las limitaciones del software. Por lo tanto, es una herramienta para la búsqueda de soluciones de ingeniería.

A continuación, un breve resumen de las principales características de nuestro programa PRO-ENGINEER :

- Modelado de sólidos y superficies: Hoja de piezas, dibujos, montaje (en el contexto del diseño y la posibilidad de trabajar con conjuntos grandes), los mecanismos, la animación, el intercambio de datos con otros CAD (diseño asistido por ordenador de sistemas).
- Análisis de la geometría y las características de inercia de masa de piezas y ensamblajes: Estudio de los conflictos y las deficiencias en los ensamblajes, desarrollo de la hoja para dar detalles de los acontecimientos (incluyendo elementos de doble curvatura), fotorrealistas imagen de un modelo en 3-D, medios de la construcción de bibliotecas de piezas estándar, las ensamblajes y las soluciones modelo de diseño. Cuenta

con traductores de IGES, STEP, Parasolid, DWG de AutoCAD, DXF, STEP, SET, VDA, NEUTRAL, PATRAIN, SLA, STL, CGM, TIFF, RENDER, inventor, VRML, CATIA, PDGS, CADAM.

- Asamblea de extensión de rendimiento (APX): Herramientas para trabajar con ensamblajes grandes, la creación de representaciones simplificadas de la asamblea, la carga de montaje parcial, el lugar de reemplazo para facilitar la presentación de informes.

- Mecanismo de Extensión de Diseño (MDX): Diseño y prueba de unidades móviles y unidades ofrecen la posibilidad de crear relaciones cinemáticas entre los componentes, la conversión de conjuntos fijos en los mecanismos. Herramientas para el análisis de los mecanismos.

- Importación de datos Doctor: Correcciones de geometrías tridimensionales importadas desde sistemas externos. Ofrece alta calidad de procesamiento de los modelos importados para seguir trabajando con ellos en Pro / ENGINEER.

- Pro / SUPERFICIE: Creación de superficies de ingeniería de cualquier complejidad.. Amplias posibilidades para el diseño de modelos de los contornos exteriores de las aeronaves y buques, hélices, rotores, paletas de turbinas de gas, sobre todo piezas complejas fundidas.

- Opción de Diseño de Animación (DAO): Herramientas para la creación de animaciones, incluyendo el análisis del proceso actual de ensamblaje y desensamblaje de los productos de ingeniería.

- WEBpublish: La capacidad de publicar modelos 3D y productos ensamblados en la página WEB.

- AutobuildZ: Herramientas para la creación automática del modelo de estado sólido tridimensional paramétrico para la elaboración de dos dimensiones, importados en formato DWG o DXF.

## 4.2.1 MODELADO DE SÓLIDOS

La fase de diseño CAD, tiene un papel muy importante, ya que será la matriz para desarrollar nuestra aplicación didáctica. Por ello, necesitamos un programa que nos proporcione suficiente flexibilidad y variedad de opciones en la creación de piezas y conjuntos 3D.

Actualmente, existe una tendencia a la alza de las empresas a utilizar estos programas 3D de modelado de sólidos, abandonando las tradicionales herramientas en 2D. No siempre es posible esta evolución, debido a los elevados costes.

Una de las principales ventajas de este software, es que la aplicación del modelado de sólidos es paramétrica. Es decir, las geometrías están totalmente basadas en parámetros (dimensiones) y al variar cualquier valor de estos parámetros podemos variar la geometría del modelo asociado, confiriendo una gran flexibilidad.

A pesar de estas facilidades, tenemos que tener claro que vamos a modelar y con qué recursos contamos para ello, partiendo de unas especificaciones de inicio. La idea es conocer las funciones disponibles para combinarlas de tal manera que tengamos el producto deseado al final.

El **modelado de sólidos** consiste en ir construyendo el sólido, combinando de modo secuencial distintas funciones. Cada una de estas funciones queda registrada en el 'árbol del modelo', de modo que si deseamos modificar algo una vez finalizado el modelo, bastará con dirigirse a la función que deseamos modificar y cambiar el valor del parámetro (o dimensión) que nos interesa.

A continuación enumeramos las funciones básicas (Figura 4.2) para el modelado de sólidos:

- ☐ **Protrusión:** Añade material a la pieza. Los 4 modos de añadir material a una pieza: **Extrude, Revolve, Blend, Sweep**
- ☐ **Cut:** Elimina material del modelo. Hay 4 modos eliminar material de una pieza: **Extrude, Revolve, Blend, Sweep**
- ☐ **Chamfer:** Permite añadir un chaflán a una pieza.
- ☐ **Round:** Utilizaremos esta función para redondear aristas u otras partes del modelo.
- ☐ **Hole:** Esta función permite crear un agujero en la pieza.
- ☐ **Pattern:** también denominado 'patron'. Permite copiar una función un número determinado de veces.
- ☐ **Rib:** Se utiliza para añadir nervios fácilmente.
- ☐ **Shell:** Vacía automáticamente aquellas zonas del modelo que nos interesen.

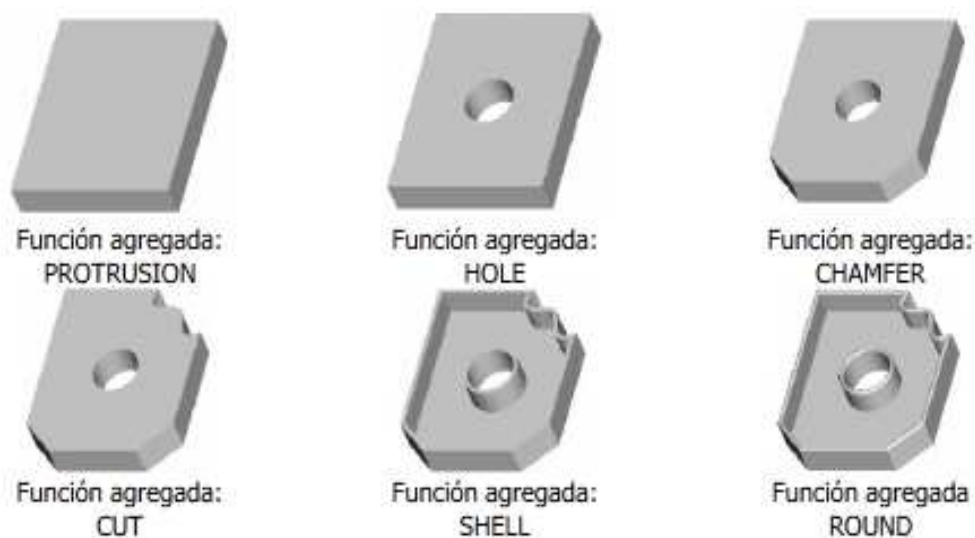


Figura 4.2. Ejemplo de algunas funciones Pro-Engineer



Por lo tanto, la creación de un modelo sólido consiste en la correcta combinación de las funciones citadas, en el orden adecuado.

Una de las características más importantes de Pro-Engineer es su capacidad parametrización, los modelos son gobernados mediante valores de cotas. Si se cambia una cota de una función, dicha función sólida se actualizará. Este cambio se propagará después automáticamente al resto de las funciones del modelo, actualizándose así toda la pieza, esto sucede debido a que en Pro-Engineer se establecen relaciones padre/hijo (parent/child relationship).

Las relaciones padre/hijo ofrecen un método muy eficaz para “capturar” la intención de diseño en un modelo. Estas relaciones se crean de forma natural entre las funciones durante el proceso de modelado. Cuando se crea una función, las funciones ya existentes que se toman como referencia se convierten en padres de la nueva función, si las funciones padres se actualizan, las funciones hijas se actualizarán automáticamente en consecuencia.

## 4.2.2 ENTORNO PRO ENGINEER

En la siguiente figura podemos observar la ventana de trabajo de Pro-Engineer, con las diferentes partes q la componen:

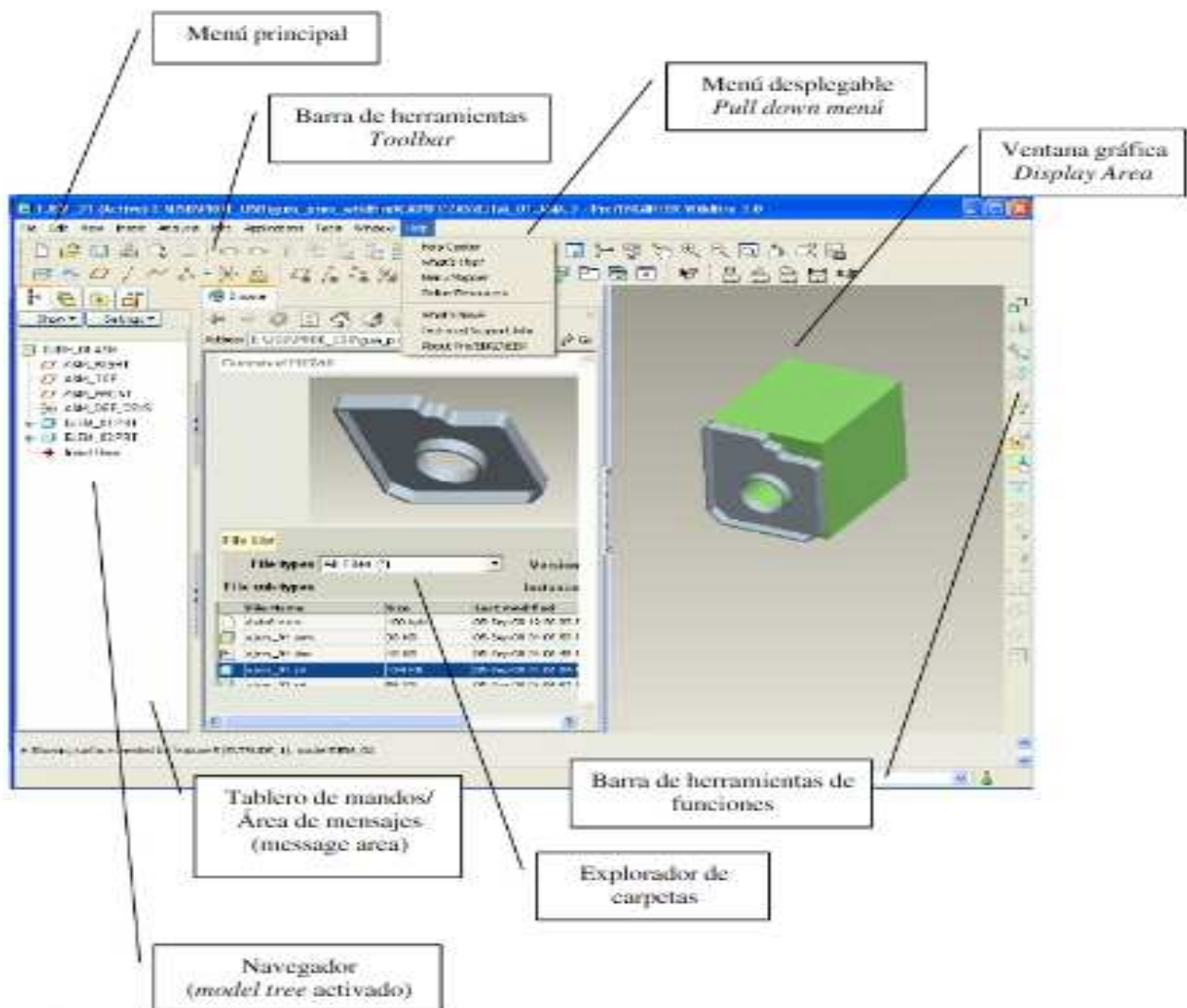


Figura 4.3. Ventana principal Pro-Engineer

Los componentes básicos de la interfaz de usuario son:

1. Ventana gráfica: área amplia de color gris donde se muestra el modelo.
2. Navegador: panel que se puede contraer, ubicado en el lado izquierdo de la pantalla.
3. Explorador: explorador Web multifuncional que muestra en la imagen una lista de modelos y una pequeña ventana de vista previa, ubicado en el centro de la pantalla.
4. Árbol del modelo (model tree): presenta una lista de las funciones de la pieza o de los componentes del conjunto. Muestra la información básica de la geometría del modelo, donde se incluye: número, tipo, estado de la función. Aquí se puede modificar, redefinir, reordenar, borrar y eliminar dichas funciones.
5. Explorador de carpetas (no se muestra en la imagen): ubicado en el lado izquierdo de la pantalla, en lugar del árbol del modelo, muestra una lista de las carpetas del ordenador o de la red. Es posible navegar por las carpetas y ver su contenido en el explorador.
6. Menú principal: ubicado en la parte superior de la pantalla, este menú desplegable contiene opciones comunes como Fichero, Editar, Insertar, Herramientas y Ayuda.
7. Barra de herramientas principal: barra de iconos ubicada en la parte superior de la pantalla.
8. Barra de herramientas de funciones: barra de iconos ubicada en el lado derecho de la pantalla.
9. Tablero de mandos, área de mensajes: barra de diálogo ubicada en la parte inferior de la pantalla cuando se crean funciones o se montan los componentes. Aquí también se muestran mensajes relacionados con las funciones que se estén creando.

Es importante tener en cuenta los mensajes presentados en esta área, debido a que optimiza la operación de las funciones y comandos.

En la siguiente figura, observamos los principales iconos y su función:

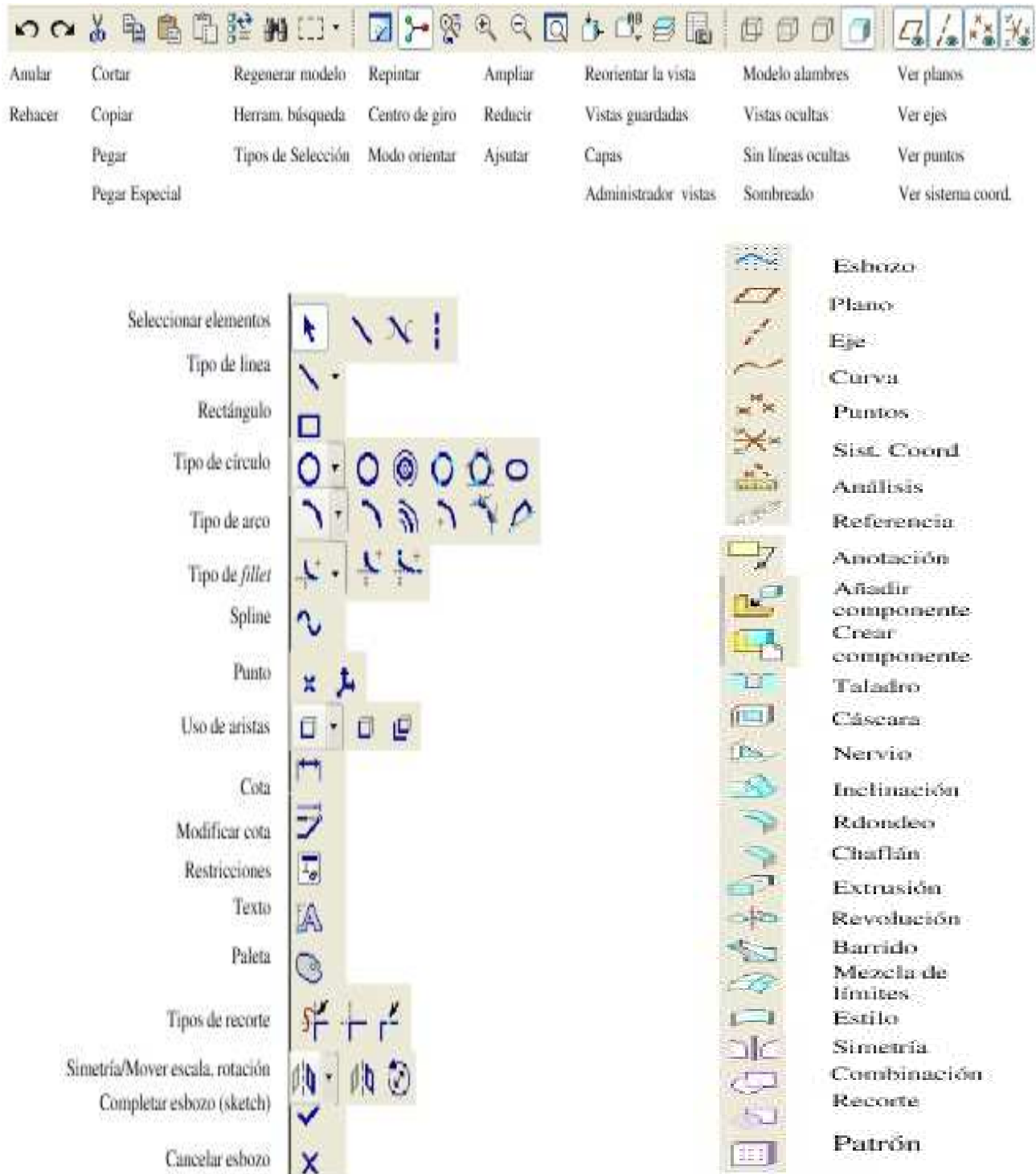


Figura 4.4. Principales iconos de Pro-Engineer

Mediante el siguiente cuadro de diálogo (Figura 4.5), elegimos el tipo de archivo que vamos a utilizar, principalmente usamos los 3 primeros:

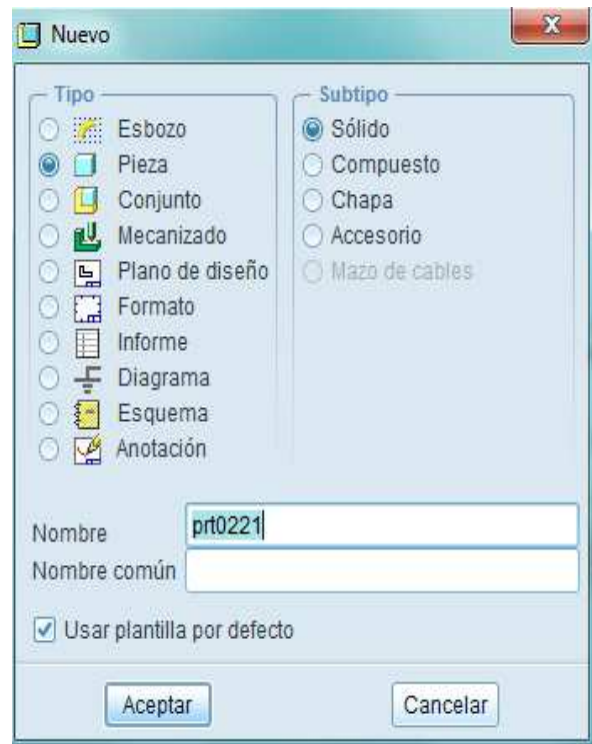


Figura 4.5. Cuadro de diálogo “Nuevo”

**Tipo Esbozo:** La sección en 2D se crea en una herramienta llamada “esbozo” cómo su nombre lo dice, el esbozo le permite hacer un dibujo aproximado de la sección con líneas, ángulos, arcos y otras entidades, luego se introducen valores precisos de las dimensiones.

**Tipo Pieza:** Aquí podemos crear los archivos de piezas (.prt) de los componentes individuales, ya en 3D, que serán posteriormente unidos en el archivo de ensamblaje (.asm) El módulo de piezas le permite crear y editar funciones, extrusiones, cortes, redondeos, chaflanes. La mayoría de las funciones comienzan con un dibujo, boceto o sección en dos dimensiones. Cuando la sección está definida se le asigna el valor de la tercera dimensión para darle forma tridimensional.

**Tipo Conjunto:** Después de crear las partes que componen su modelo, se crea un archivo de ensamblaje (.asm) inicialmente vacío para el modelo y luego ensambla individualmente las partes unas con otras. En este proceso se acopla o alinea las partes a las posiciones que ocuparán en el producto final

**Tipo Plano de diseño:** Menos utilizado pero no por ello menos útil. Permite crear dibujos técnicos basados directamente en las dimensiones de las piezas 3D guardadas en los archivos de partes o de ensamblajes. De hecho, no es necesario agregar dimensiones, solamente seleccionar que dimensiones mostrar y ocultar del modelo en 3D. La extensión de los archivos de dibujo es (.drw).

Los demás tipos no han sido utilizados en nuestro proyecto, por lo que no los incluyo en esta explicación.

### 4.2.3 EJEMPLO DE MODELADO

Se aborda un ejemplo de modelado paso por paso de la correa de caucho que transmite el movimiento en el subsistema de transmisión. He elegido esta pieza del banco por la dificultad aparente a la hora de pensar cómo hacerla y a la facilidad de modelarla gracias a las diversas opciones de Pro Engineer.

Paso 1: Una vez que elegimos el plano en el que queremos trabajar, dibujamos el diente de la correa en 2D (Figura 4.6), con las dimensiones deseadas aproximadamente mediante la opción de “esbozo”, con la posibilidad de variar las cotas para tener las medidas exactas. Posteriormente, mediante una protrusión sencilla lo convertiremos en una figura 3D, con el ancho de la correa deseada. Así conseguimos una unidad del diente de la correa.

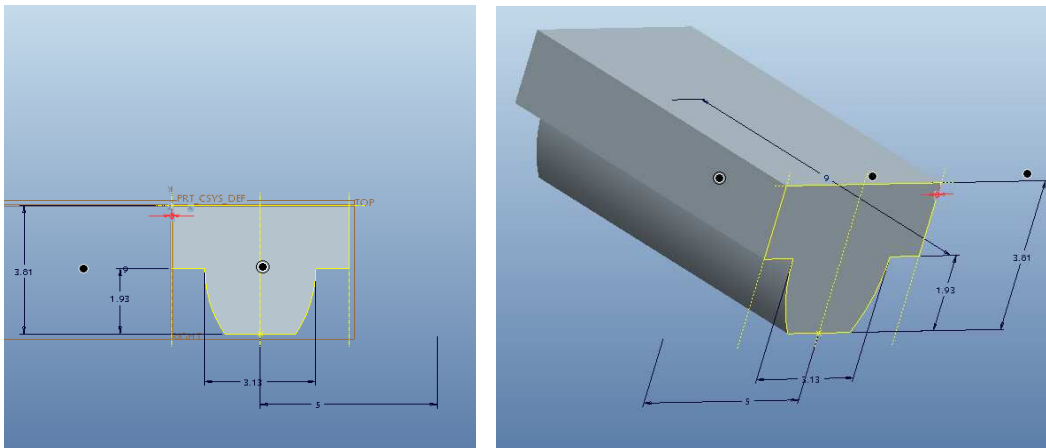


Figura 4.6. Esbozo del diente de la correa

Paso 2: Con este diente, creamos un “patrón”, teniendo así la posibilidad de no tener que dibujar mas y de repetirlo según la trayectoria deseada y el número de dientes que tenga la correa. Dibujamos la trayectoria que seguirá nuestra correa (Figura 4.7):

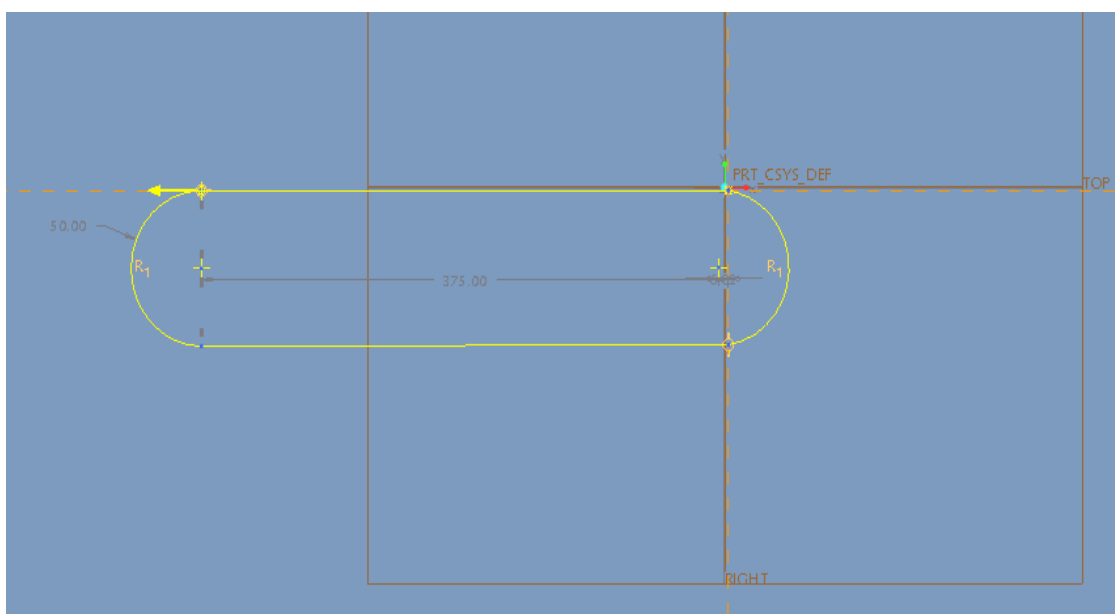


Figura 4.7. Curva de trayectoria

En la siguiente imagen (Figura 4.8) se muestra la ventana que permite realizar la operación, Cada punto negro de la curva representa un diente repetido:

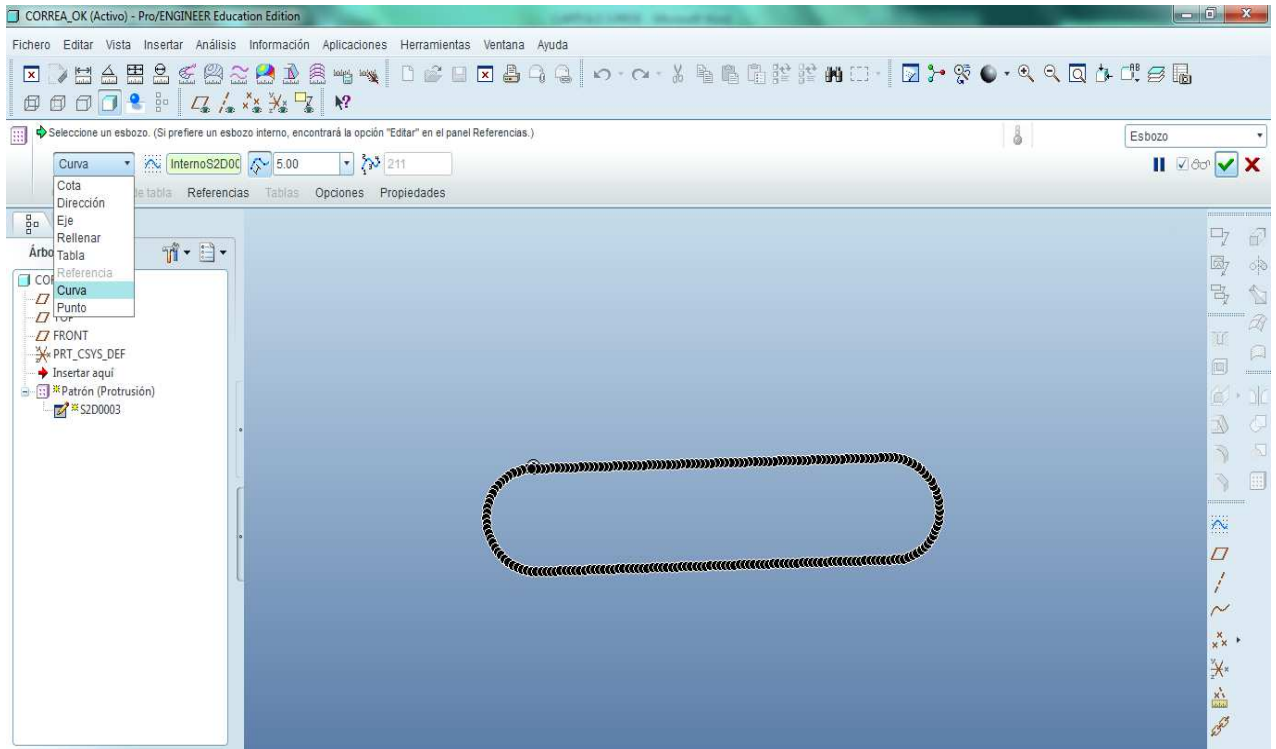


Figura 4.8. Detalle de la ventana patrón

Paso 3: En el cuadro de diálogo, arriba a la izquierda, observamos la opción elegida “curva”, trayectoria que esbozamos anteriormente sobre la cual se repite nuestro diente patrón cada 5 cm. Aceptamos la operación y el resultado es el siguiente (Figura 4.9):

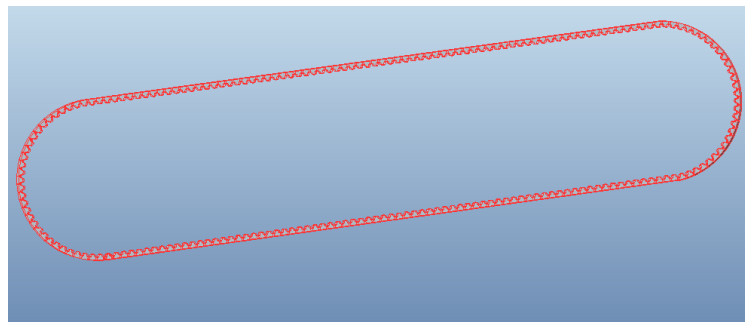


Figura 4.9. Correa terminada



### 4.3 ANIMACIÓN

En la ventana principal de Pro Engineer, dentro de la pestaña “aplicaciones” (Figura 4.10) podemos elegir distintos módulos funcionales además del estándar, de modelado, que completan el paquete de software dando opciones de análisis de elementos finitos, simulación de mecanismos, mecánica de fluidos CFD, etc. Nuestra versión nos daba las siguientes aplicaciones:

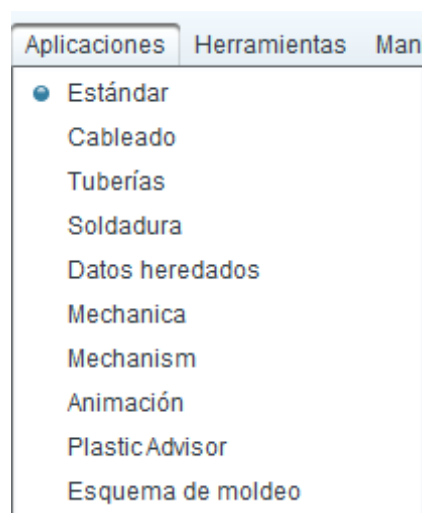


Figura 4.10. Pestaña de aplicaciones

La opción de animación es la que nos ha permitido darle vida al banco, montando vídeos y escenas para la aplicación didáctica. En la siguiente figura muestro una captura de la pantalla del *entorno animación* (Figura 4.11) de nuestro programa.

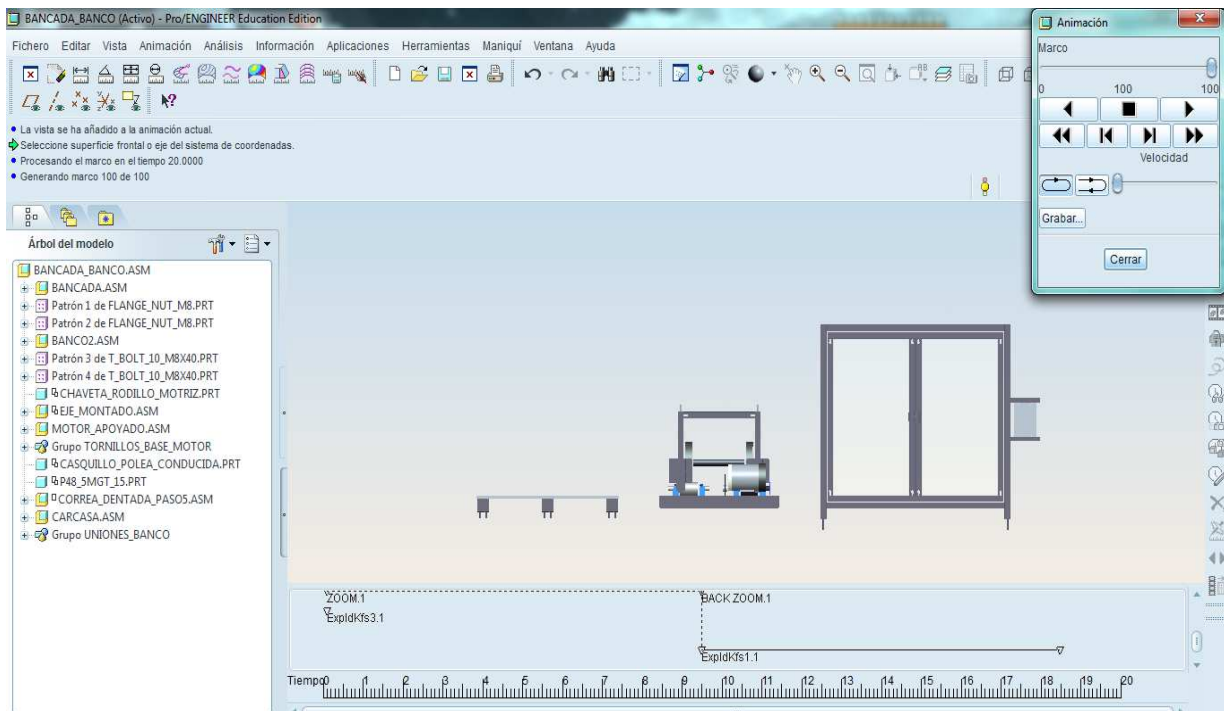


Figura 4.11. Entorno animación

Las funciones más importantes de este “entorno animación” que hemos utilizado son las siguientes:

- Secuencia de marcos clave: nos permite ir agregando marcos a la línea de tiempo para formar la animación (Figura 4.12).

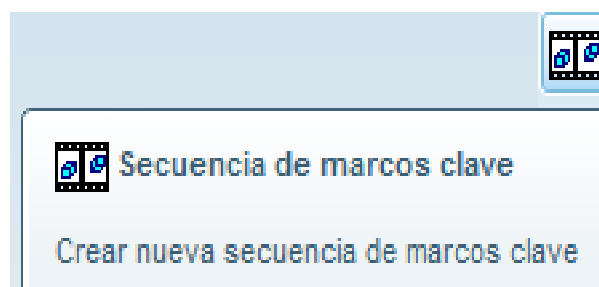


Figura 4.12. Icono de la secuencia de marcos

Los marcos se añaden a la línea de tiempos mediante una ventana con diversas opciones (Figura 4.13):

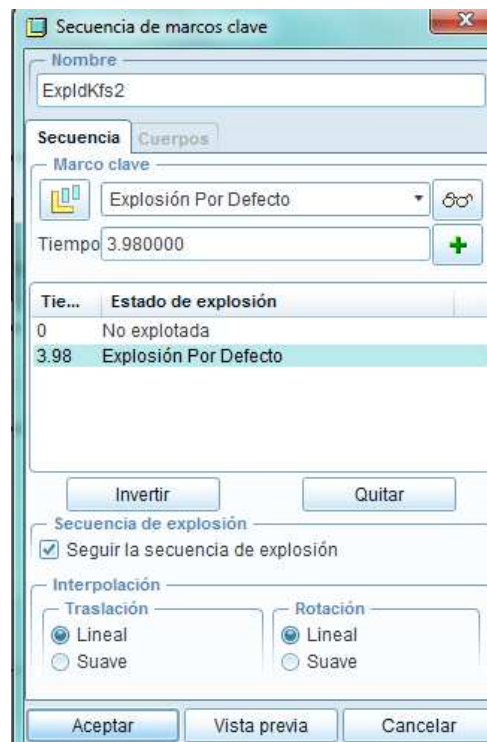


Figura 4.13. Ventana de secuencia de marcos

- Vista durante la animación: Nos permite añadir las distintas vistas que queremos durante nuestra animación, pudiéndose solapar con los marco (Figuras 4.14 y 4.15).

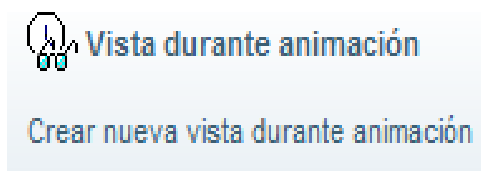


Figura 4.14. Icono vistas



Figura 4.15. Ventana vistas

- Icono motor cinemático: Nos permite dar movimiento a las piezas, teniendo en cuenta que las restricciones sean correctas en el ensamblaje del conjunto, es decir, que las restricciones nos permitan dar movimiento a dicha pieza (Figura 4.16).

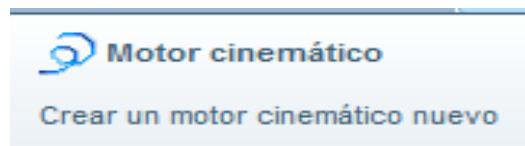


Figura 4.16. Icono Motor cinemático

Para poder dar movimiento a una pieza, lo primero que tenemos que hacer es asegurarnos de que el ensamblaje de la pieza no suponga restricciones de movimiento en ella. Posteriormente tenemos que seleccionar el eje en el cual queremos que se mueva (Figura 4.17).



Figura 4.17. Ventana definición del motor cinemático

Una vez elegido el eje de la pieza que gobernará el movimiento, le adjudicamos las propiedades del movimiento como pueden ser la velocidad, aceleración o posición final e inicial.

- Línea de tiempos: En la zona inferior de la pantalla del entorno animación se puede ver la línea del tiempo (Figura 4.18) que se emplea en Pro-Engineer para montar la escena animada pudiendo añadir diferentes elementos: explosionados, motores cinemáticos, escenas o diferentes vistas.

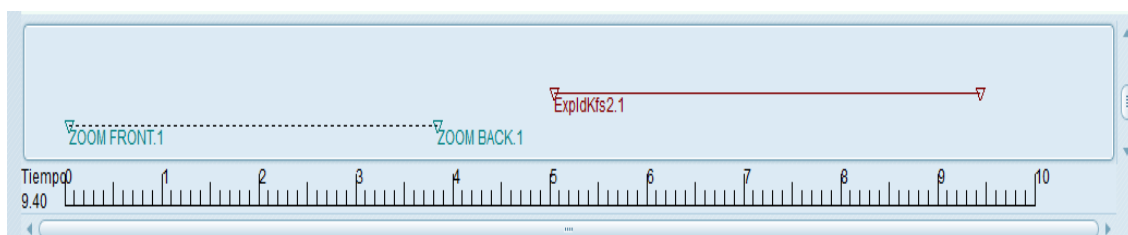


Figura 4.18. Línea de tiempos

Tras decidir cómo queremos la animación, en el cuadro de diálogo le damos a “Grabar” y nos aparecerá la siguiente ventana que nos permite elegir el nombre, formato de video, resolución, velocidad de los marcos y calidad de videos (Figura 4.19).



Figura 4.19. Opciones de video

## 4.4 MODELADO DEL BANCO

### 4.4.1 CONJUNTO COMPLETO DEL BANCO

Para este modelado, ha sido necesario utilizar más de 500 piezas en archivos individuales (.prt) para posteriormente ensamblarlos en subconjuntos (.asm) dando lugar al conjunto final en dicho formato. Se ha seguido un estricto criterio en cuanto a dimensiones y relaciones geométricas para conseguir un conjunto modelado lo mas similar posible al real.

En la siguiente imagen observamos una vista general del banco (Figura 4.20) con todos sus accesorios: carcasa, variador de frecuencia y displays. A continuación, lo detallaremos de forma más precisa.

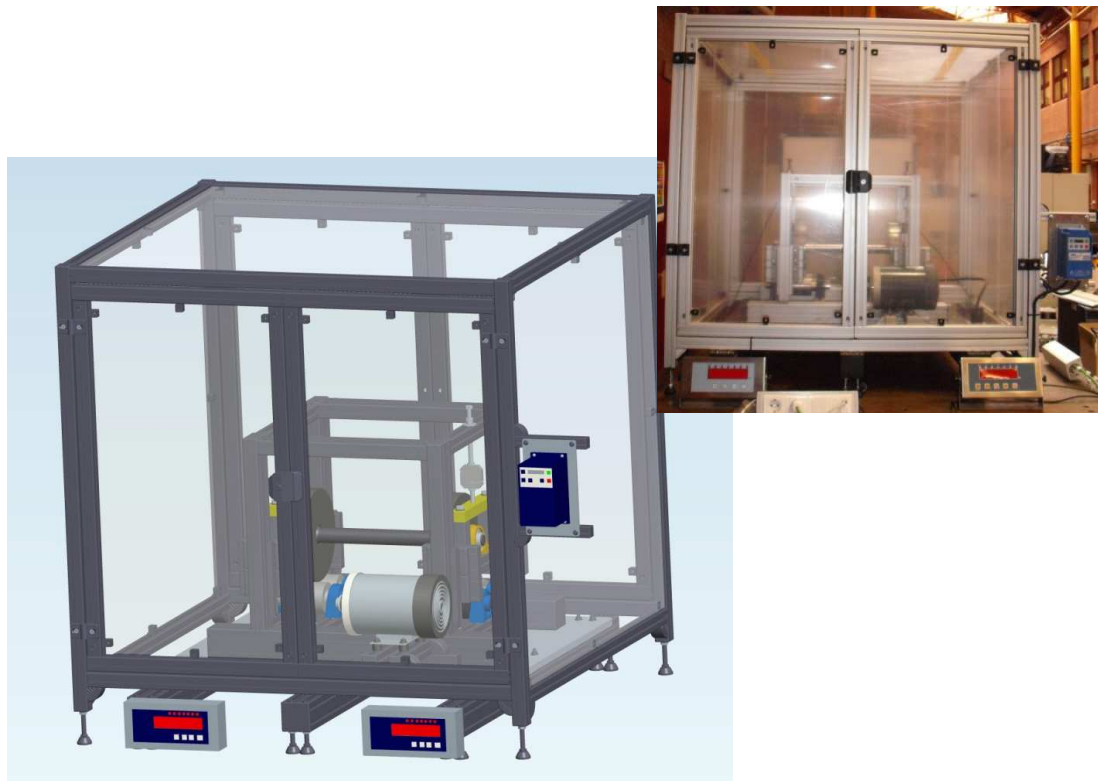


Figura 4.20. Modelado del banco completo

Para tener una mejor idea del interior del banco, en la siguiente imagen se muestra sin la carcasa (Figura 4.21), con todo tipo de detalles y muy cercano al modelo real ya existente.

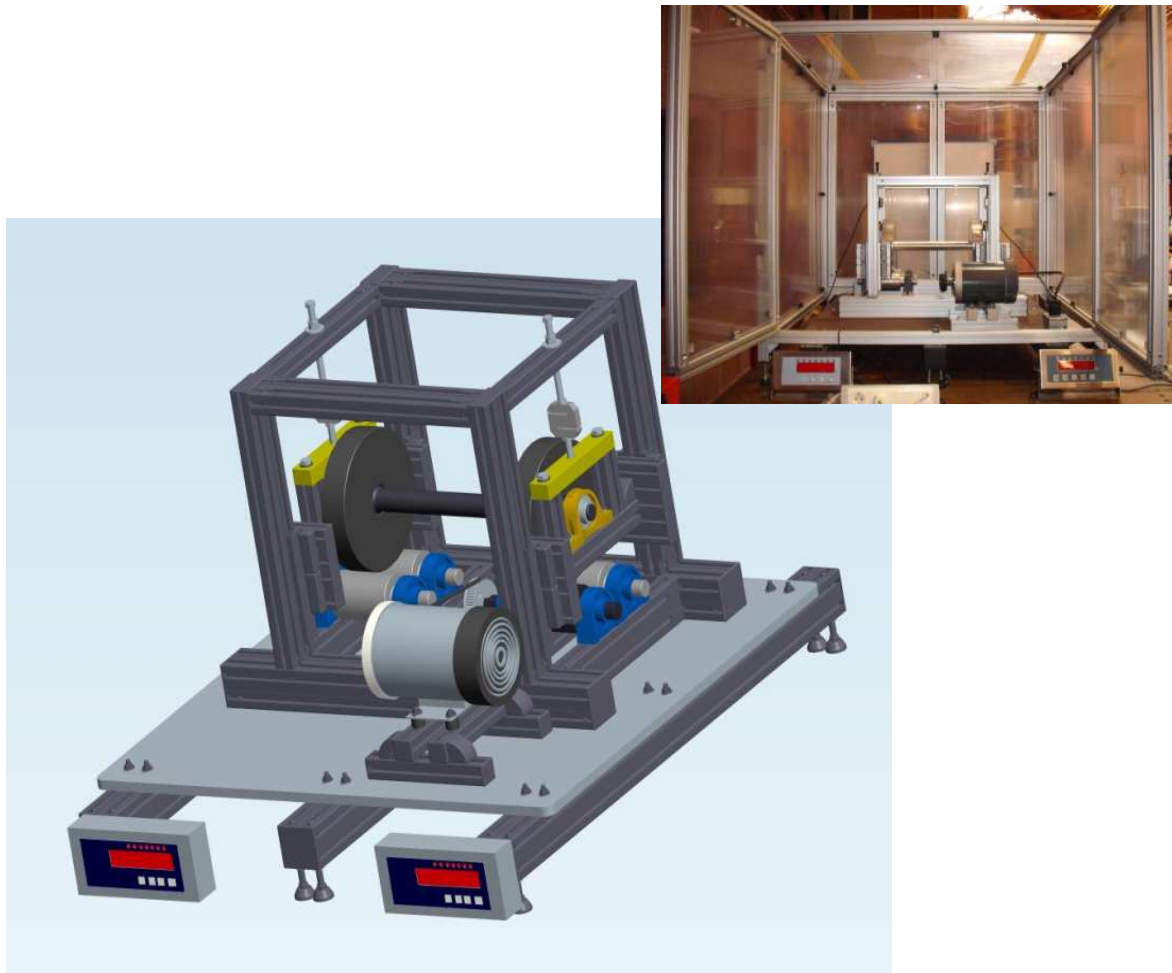


Figura 4.21. Modelado del banco sin carcasa

Más de 500 piezas modeladas (Figura 4.22) son necesarias para ensamblar con éxito el banco completo:

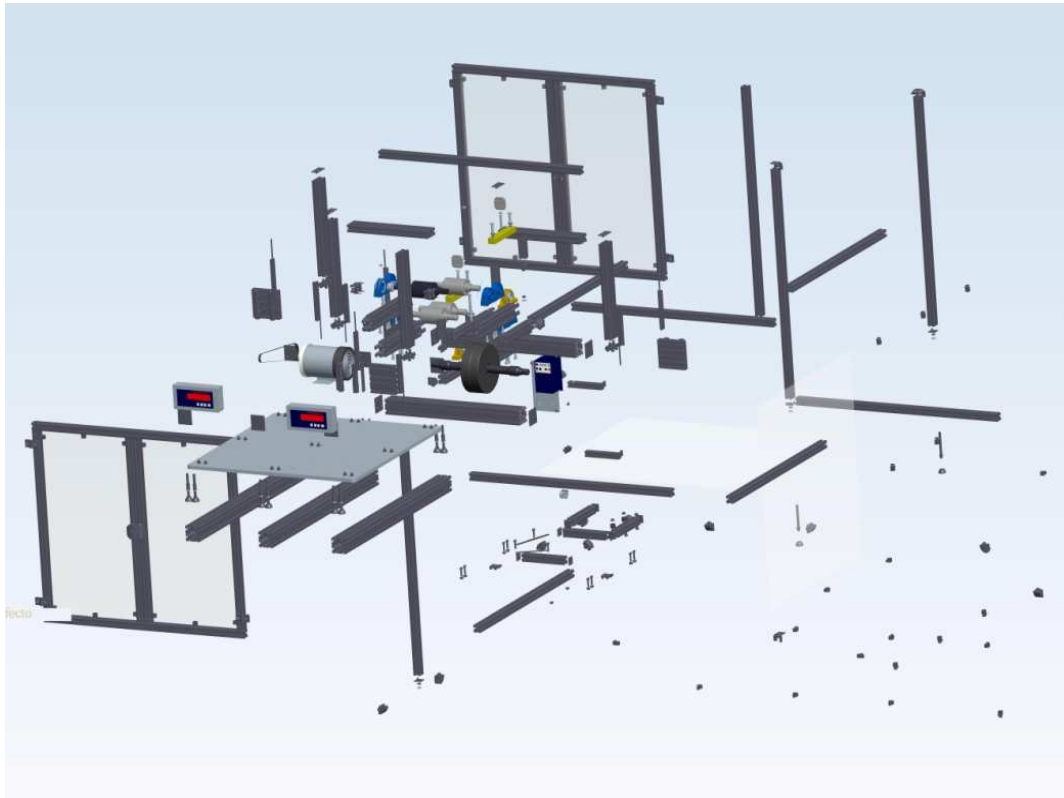


Figura 4.22. Explosionado general

El banco está diseñado para ensayar con wheelsets a escala 1:4 de ruedas planas (Figura 4.23) cuyo modelado es similar al real.

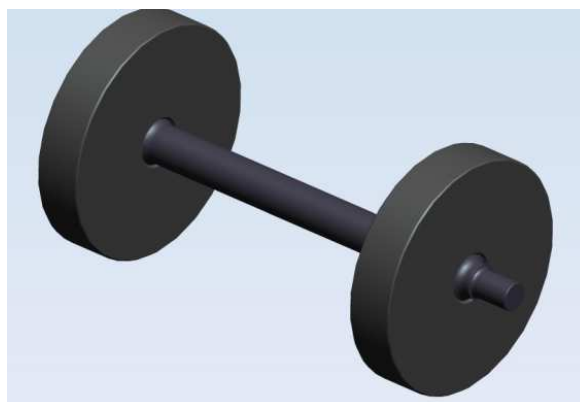


Figura 4.23. Modelado del wheelset a escala



Estas son las 6 vistas generales del modelado del banco (Figura 4.24):

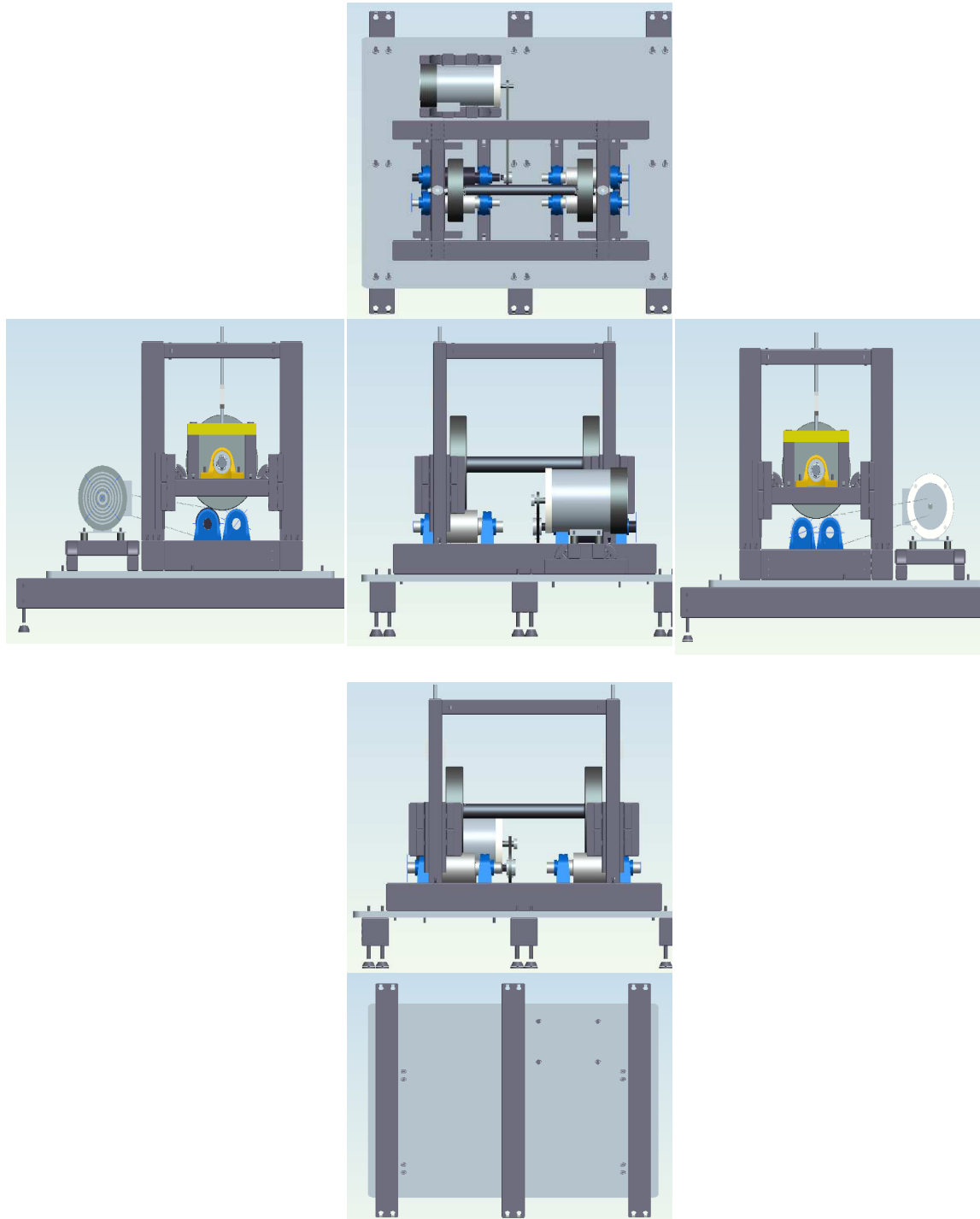


Figura 4.24 Desarrollo de las vistas principales

## 4.4.2 MODELADO DE SISTEMAS PRINCIPALES

### 4.4.2.1 MODELADO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN

La carcasa (Figura 4.25) no tiene complejidad por la dificultad de la geometría de las piezas, sino por la cantidad de componentes que conlleva y la infinidad de opciones de unión que da la marca Bosch Rexroth con sus perfiles de aluminio.

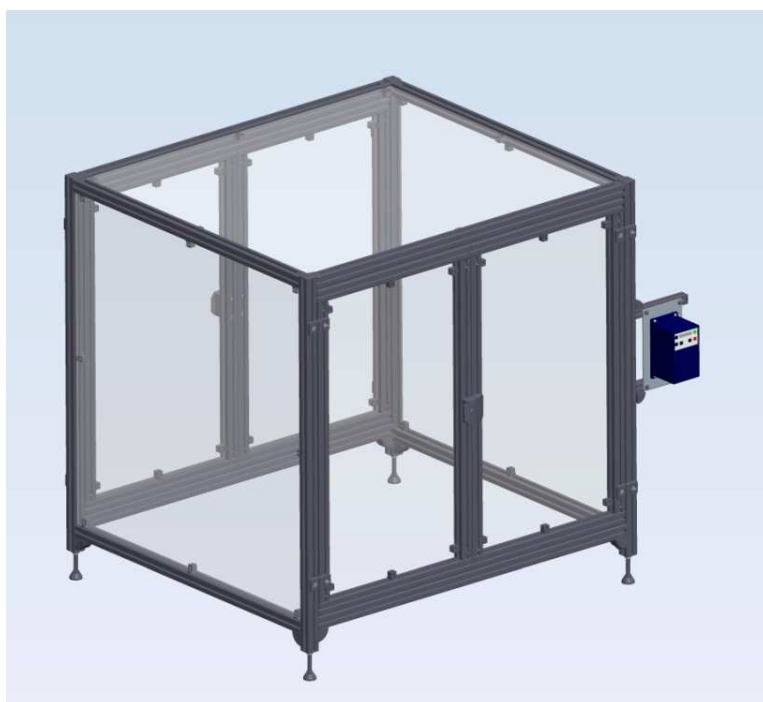


Figura 4.25. Modelado del sistema de protección: carcasa

Aprovecharé este apartado para mostrar explosionados detallados de las distintas uniones utilizadas en todo el banco y el resto de los accesorios. Todas estos ensamblajes y explosionados han sido realizados mediante “restricciones” que componen los ensamblajes de Pro- Engineer.

Empezaremos con una bisagra (Figura 4.26) que une la puerta al marco y nos permite el giro de ésta. Para conseguir mejor comprensión, se han señalado las tuercas de martillo (resaltadas en rojo) que encajan perfectamente en las ranuras de los perfiles.

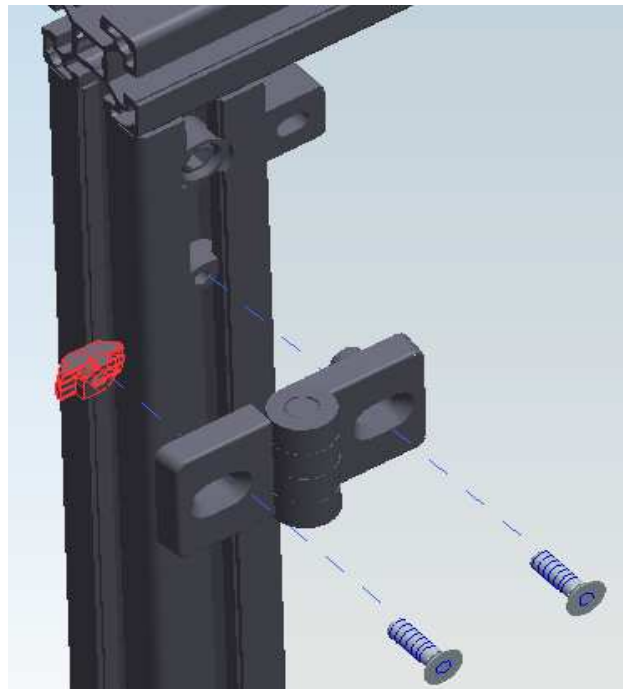


Figura 4.26. Explosionado de la bisagra de la puerta de la carcasa

En el vértice inferior de la carcasa (Figura 4.27) se utilizan escuadras exteriores, las cuales ya detallamos anteriormente. En estos vértices inferiores encontramos las patas con amortiguación, también se muestra su explosionado a continuación.

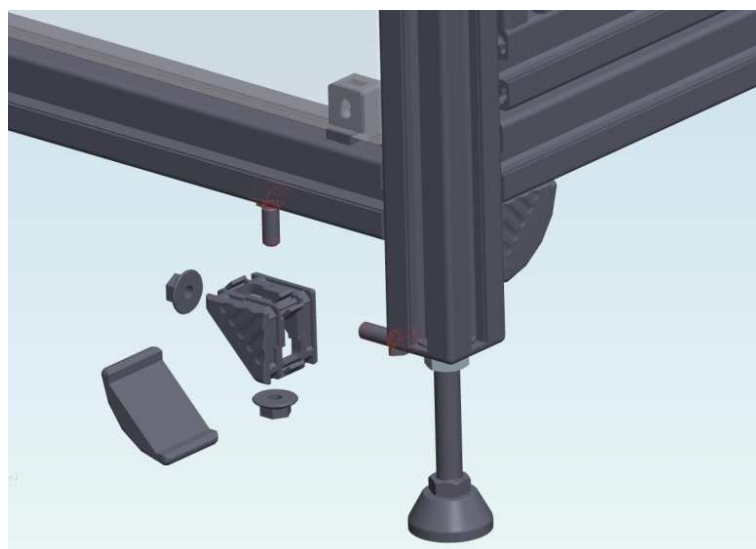


Figura 4.27. Explosionado de la escuadra exterior

A continuación, además de mostrar un explosionado de una de las cuatro patas que sostienen la carcasa (Figura 4.29), se muestra un vértice superior de la carcasa (Figura 4.28) para apreciar con calidad la unión mediante escuadras interiores, las cuales se encajan en las ranuras de los perfiles perfectamente, consiguiendo una unión muy sencilla y fiable.

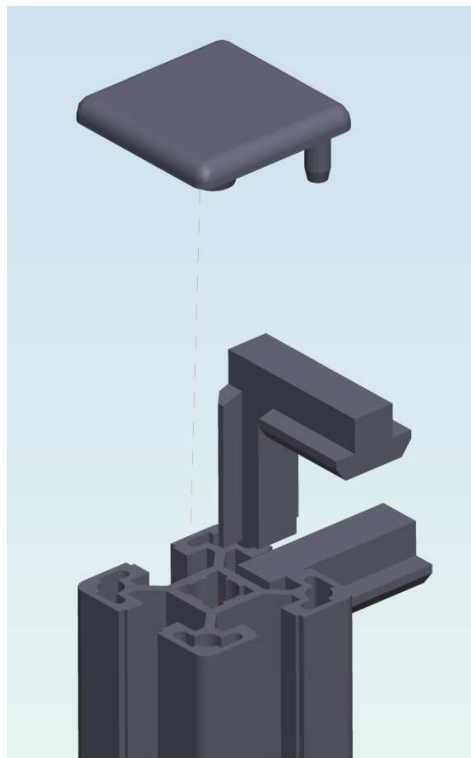


Figura 4.28. Detalle escuadra interior



Figura 4.29. Explosionado de la pata con amortiguación

Para poder sostener la lámina de copoliéster de la carcasa, son necesarias unas pequeñas piezas de plástico llamadas “variofix block” (Figura 4.30), cuyo modelado podemos ver en la siguiente imagen:

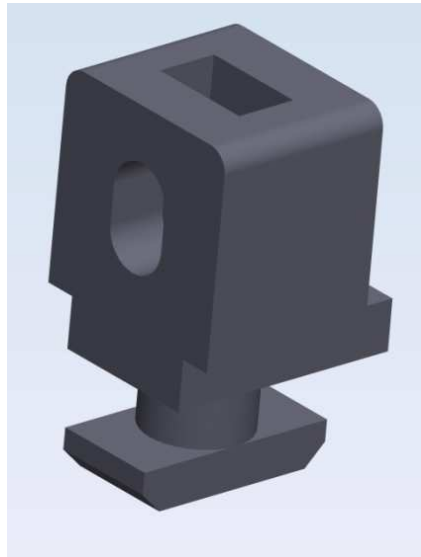


Figura 4.30. Modelado del variofix block

Por último lo único que nos queda de la carcasa es la cerradura de las puertas (Figura 4.31), la cual detallaré a continuación para poder observar su semejanza con el banco real:

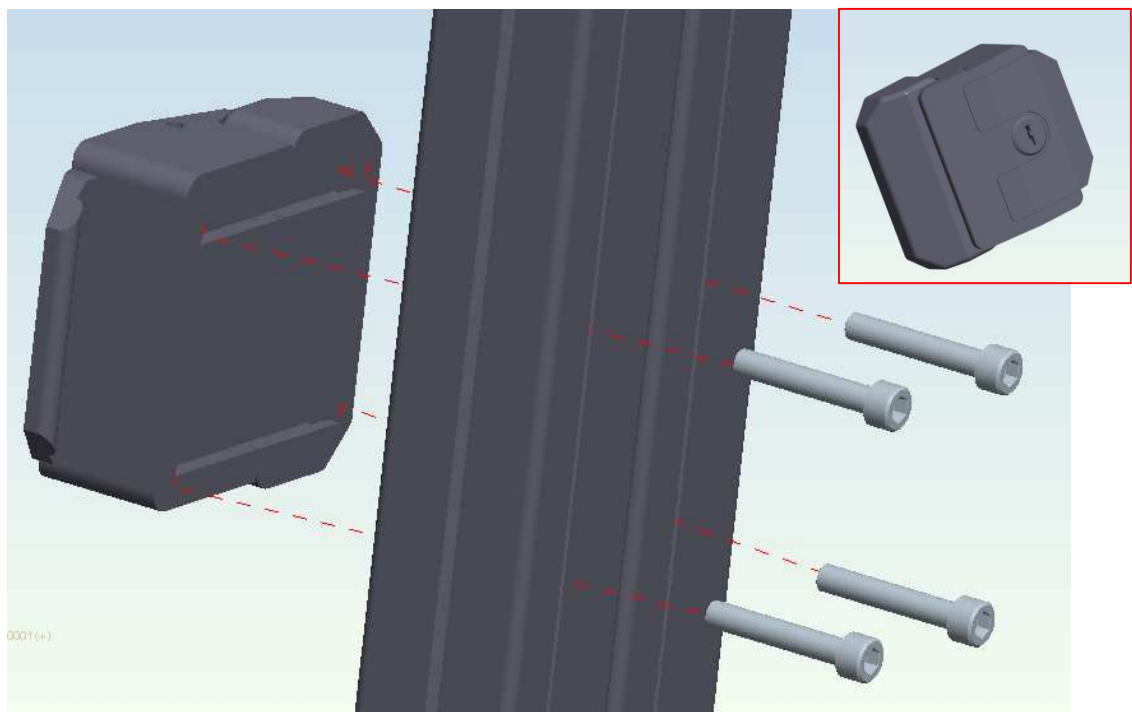


Figura 4.31. Explosionado de la cerradura

#### 4.4.2.2 MODELADO DEL SISTEMA DE SUSTENTACIÓN

En cuanto a la bancada, presenta 2 tipos de uniones, teniendo como elemento común en ambas las 3 grandes vigas, la unión inferior con las patas y la superior con la plancha de acero (Figura 4.32).

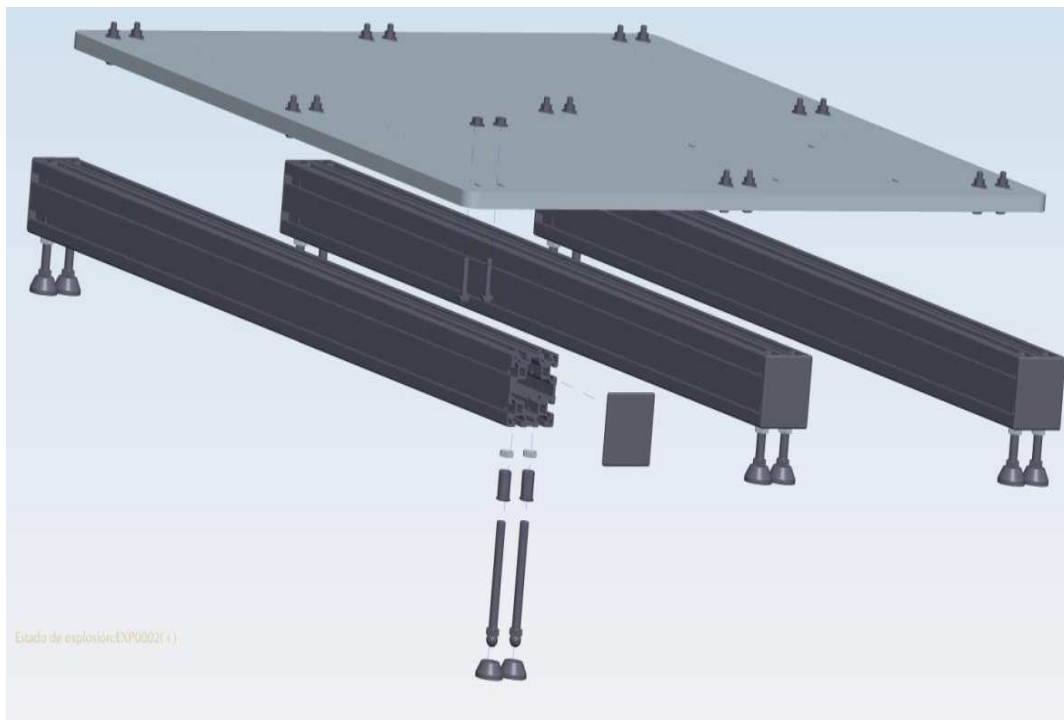


Figura 4.32. Explosionado sistema de sustentación: bancada

Para apreciarlo mejor, podemos dividirlo en 2 subexplosionados (Figura 4.33 y 4.34), el de la viga con la plancha y el de la pata con la viga, en los cuales podemos apreciar con claridad el detalle del interior de las vigas :

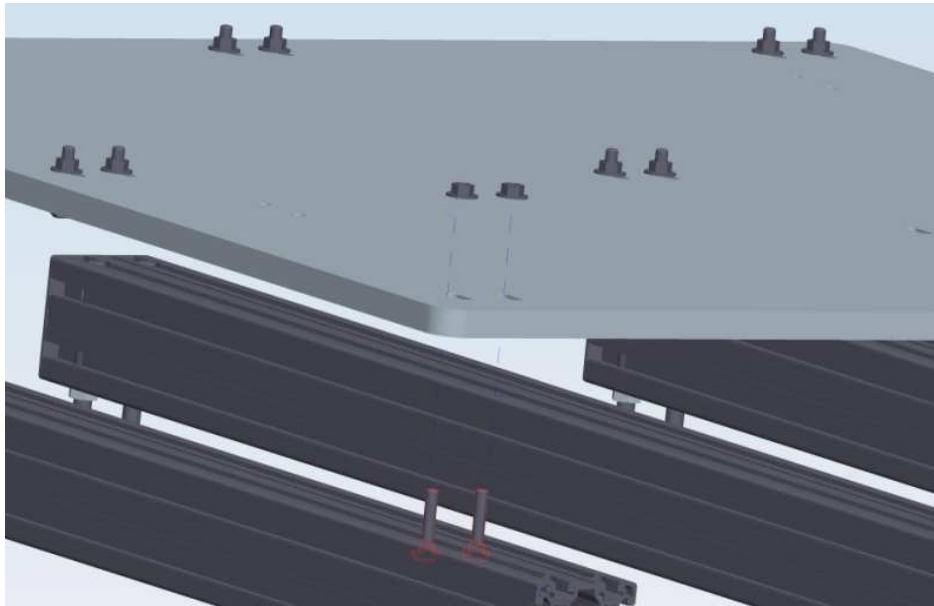


Figura 4.33. Explosionado de la unión viga-plancha

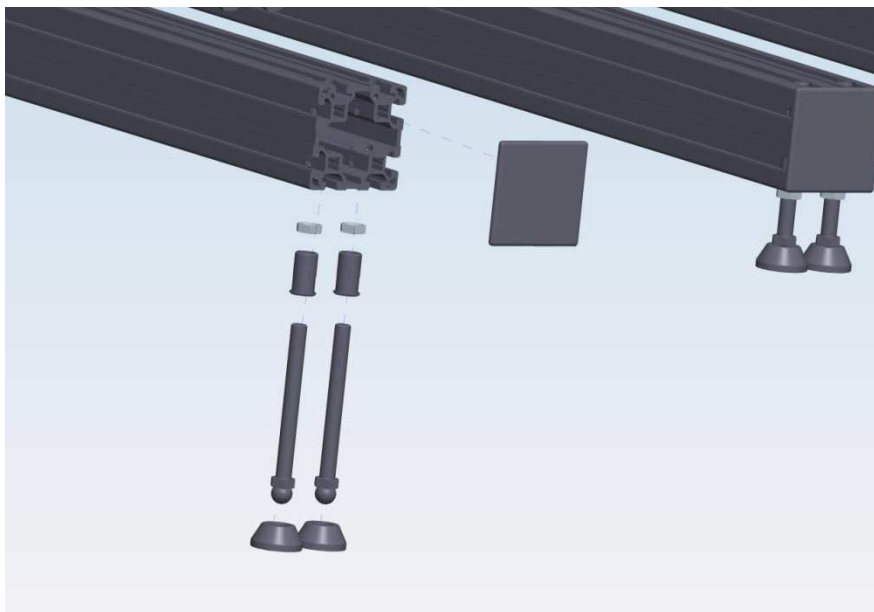


Figura 4.34. Explosionado de la unión pata-bancada

La siguiente imagen muestra una de las uniones más importantes, la del banco con la bancada (Figura 4.35), la cual tiene que ser una unión sólida y fuerte, mediante 8 tornillos cuyas cabezas de martillo encajan perfectamente en las ranuras de 10mm de los perfiles, con sus respectivas tuercas, situados de 2 en 2 en los extremos de la base del banco, en los grandes perfiles de 80x80 mm.

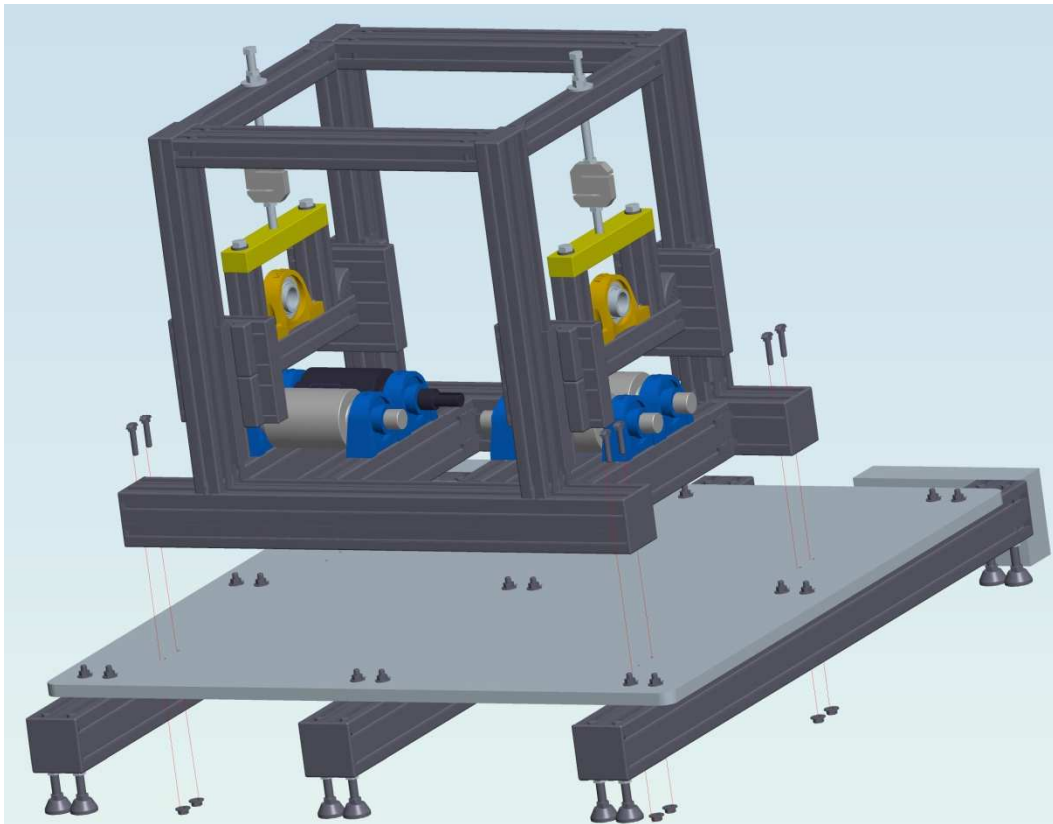


Figura 4.35. Explosionado de la unión banco-bancada



#### 4.4.2.3 MODELADO DEL SISTEMA DE ENSAYO

Hay que tener en cuenta la importancia de este sistema, puesto que la mayoría de los subsistemas que instalaremos, como el subsistema de carga, medida o transmisión, que veremos más adelante, tendrán elementos acoplados en él. Por ello debe ser una estructura rígida y fiable (Figura 4.36), que facilite la convivencia con los elementos de los demás subsistemas.

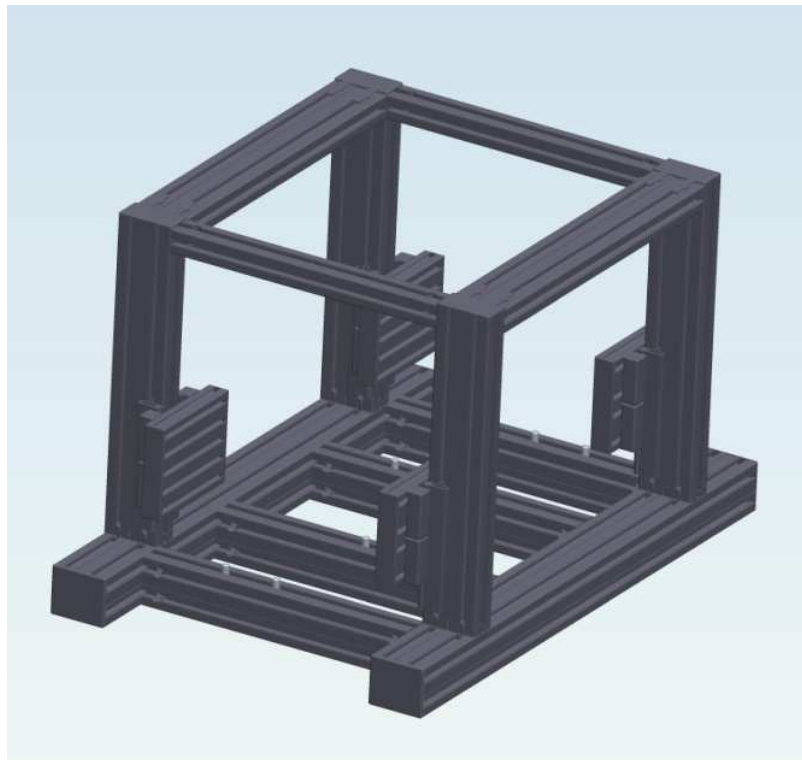


Figura 4.36. Modelado del esqueleto del banco

Comenzaremos detallando la unión de las 4 columnas con los 2 grandes perfiles de 80x80mm, mediante 2 uniones en T en cada perfil debido a sus grandes dimensiones (Figura 4.37).

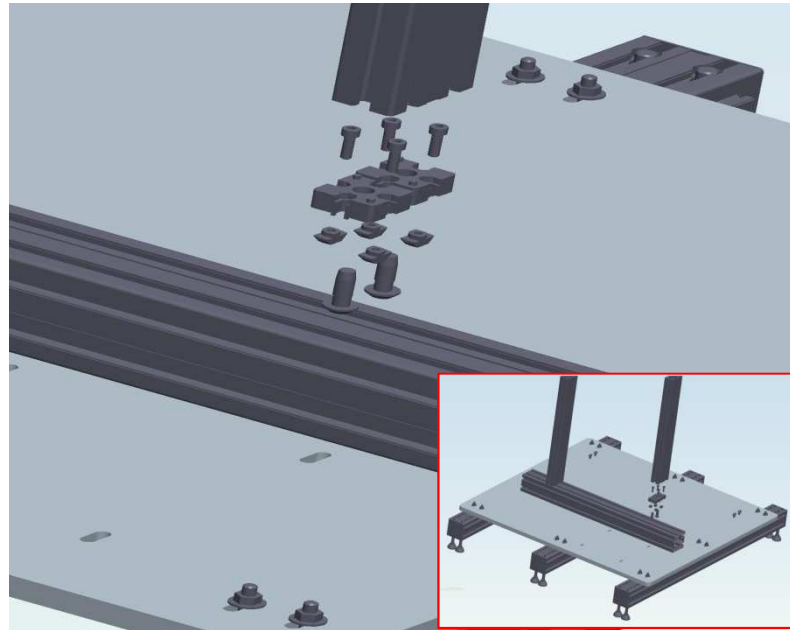


Figura 4.37. Unión en T de las columnas del banco

Para completar la base del banco, nos disponemos a ensamblar los cuatro perfiles atravesados, mediante dos empalmadores de pernos (Figura 4.38) cada una (el montaje de estos elementos lo detallaré mas adelante, en el vértice superior del banco).

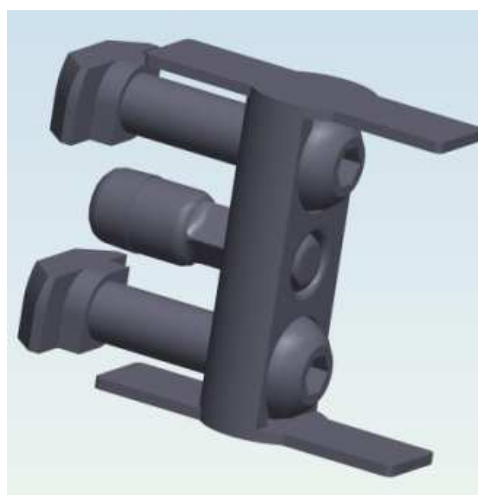


Figura 4.38. Modelado del empalmador de pernos

En cada una de las columnas ya montadas, ensamblamos una guía lineal con su correspondiente carrito. El vástago de la guía lineal tiene que coincidir con los rodillos de los cojinetes de sustentación (Figura 4.39), permitiendo así un movimiento vertical.

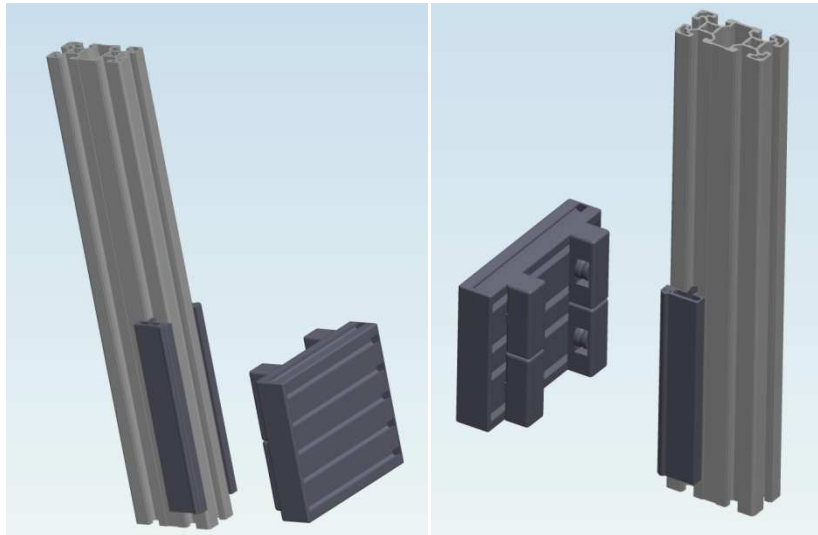


Figura 4.39. Explosionado del montaje del carrito

Con los elementos anteriormente detallados y montados tendremos la siguiente estructura (Figura 4.40):

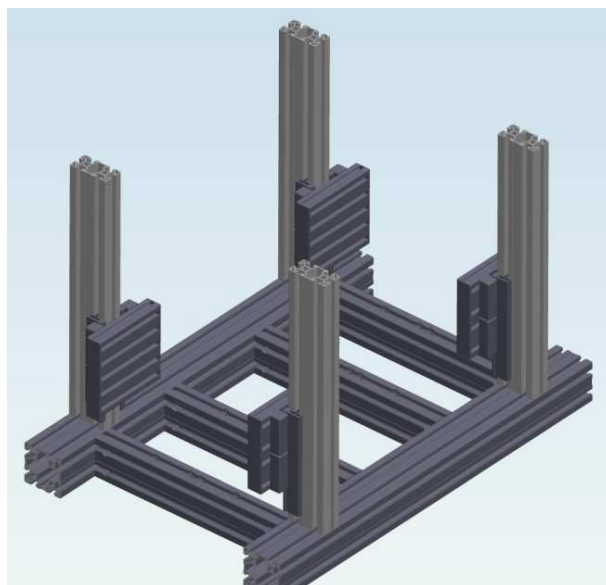


Figura 4.40. Guías lineales con carritos

Para terminar la estructura, tenemos que completar el banco de ensayos en su parte superior, ya que las piezas que faltan serán explicadas en los subsistemas correspondientes. Así, para terminar con el banco, voy a detallar las uniones de los vértices superiores (Figura 4.41), caracterizadas por la diferencia de dimensiones de los perfiles y realizadas mediante empalmadores de pernos:

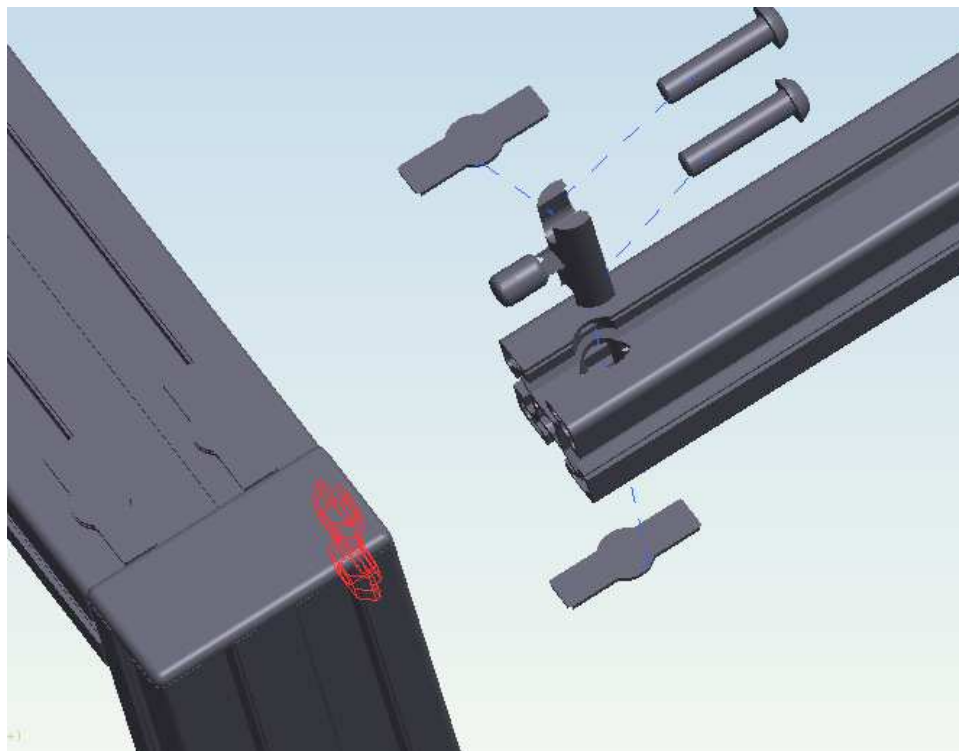


Figura 4.41. Detalle de la unión con empalmador de pernos

Podemos observar las tuercas, resaltadas en rojo, de cabeza de martillo alojadas en la ranura del perfil y un orificio transversal en el otro perfil por el que pasa la pieza que hace presión. Los tornillos son de cabeza de allen .

### 4.4.3 MODELADO DE SUBSISTEMAS

#### 4.4.3.1 MODELADO SUBSISTEMA MOTOR

Este modelado de motor de formas sencillas (Figura 4.43), con pocas piezas para ensamblar y cuyas únicas dificultades de diseño son la polea y las rejillas de ventilación. Hay que tener en cuenta la estructura que lo soporta basada en perfiles de aluminio y las piezas que los unen.

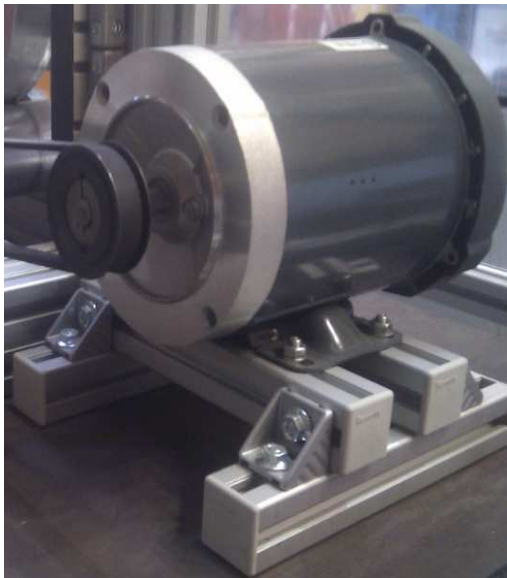


Figura 4.42. Fotografía motor

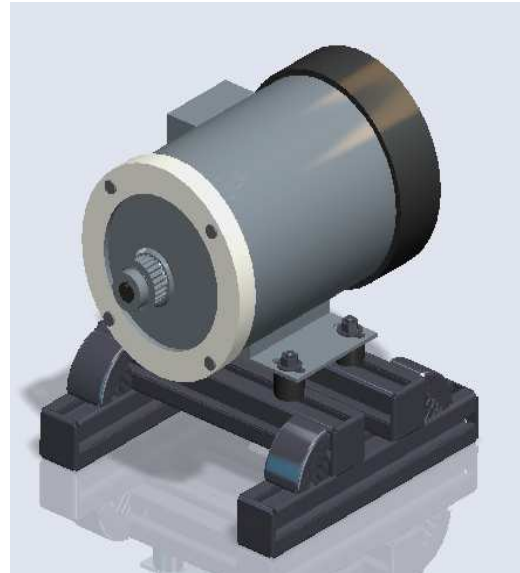


Figura 4.43 .Modelado motor

Aunque dé la impresión de que está unido al banco, lo único que le une a él es la correa de transmisión que abraza al rodillo motriz desde la polea del eje del motor (Figura 4.44). Realmente el motor está unido a la bancada mediante 4 tornillos (resaltados en color rojo, para apreciarlos dentro de cada perfil) con sus tuercas, que fijan una subestructura de apoyo a la bancada.

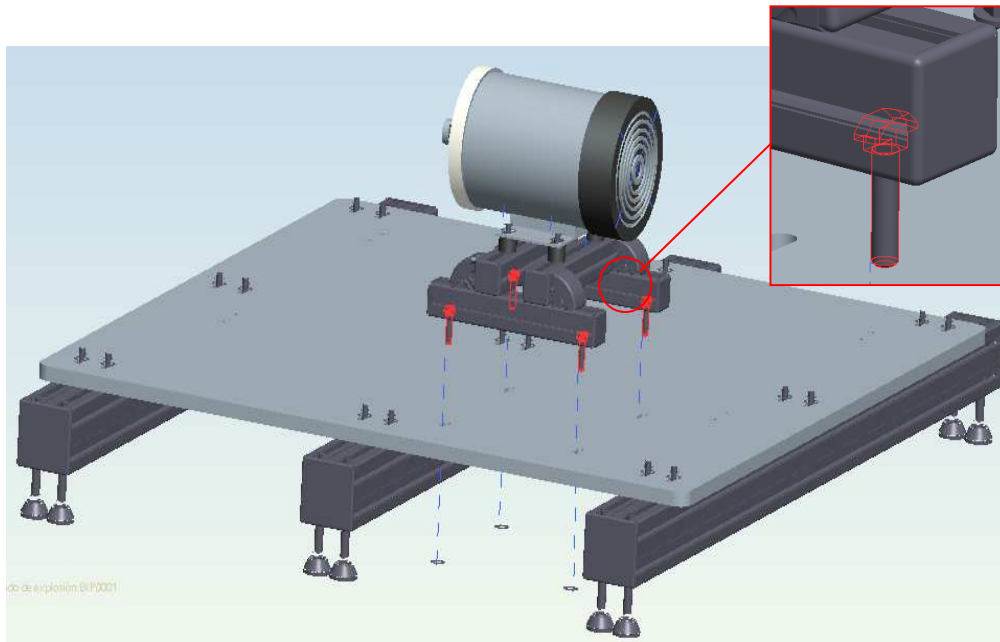


Figura 4.44. Explosionado de la unión bancada-apoyo motor

El motor va unido a su subestructura mediante su chapa soporte (Figura 4.45) y 4 tornillos con sus tuercas. Los silent block que aparecen modelados fueron retirados posteriormente por un comportamiento perjudicial para el conjunto.



Figura 4.45. Explosionado unión motor-subestructura de apoyo

La subestructura de soporte del motor se basa en cuatro pequeños perfiles unidos mediante escuadras exteriores con sus respectivas tapas (Figura 4.46).

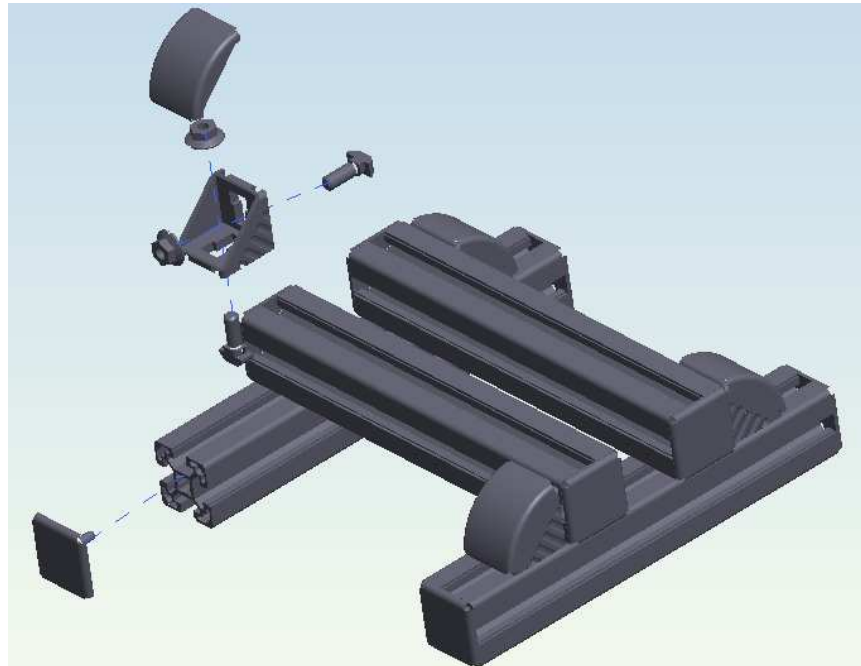


Figura 4.46. Explosionado subestructura del motor

El funcionamiento del motor está gobernado por un variador de frecuencia (Figura 4.47 y 4.48), con su correspondiente subestructura unida a un vértice de la carcasa mediante 2 pequeños perfiles. Éste lo podemos incluir también en el subconjunto de medida, pero detallaremos su modelado ahora.



Figura 4.47. Fotografía del variador

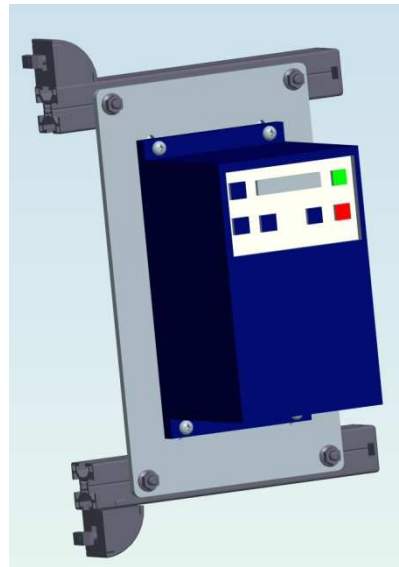


Figura 4.48. Modelado del variador

La carcasa del variador posee 4 orificios en sus esquinas que facilitan la unión a la placa de acero que lo soporta mediante 4 tornillos con sus respectivas tuercas (Figura 4.49) .

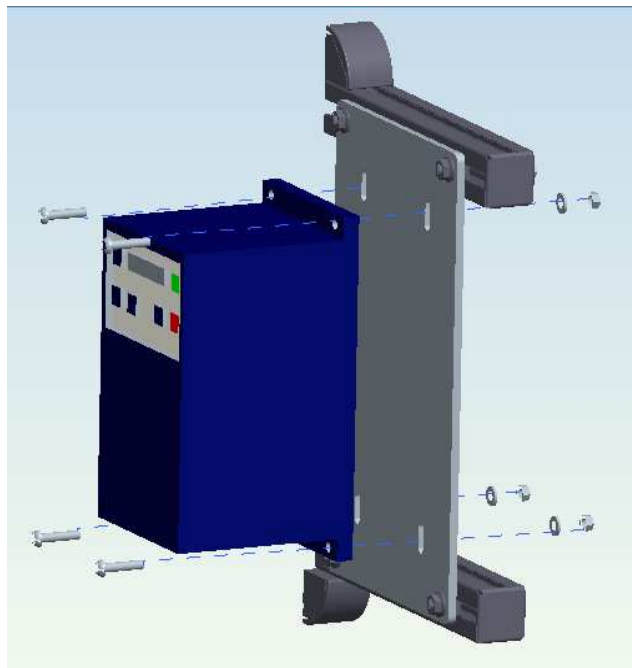


Figura 4.49. Explosionado de la unión variador- placa soporte



La subestructura que soporta el variador (Figura 4.50) se une a una arista lateral de la carcasa mediante 2 escuadras exteriores con sus respectivas tapas.

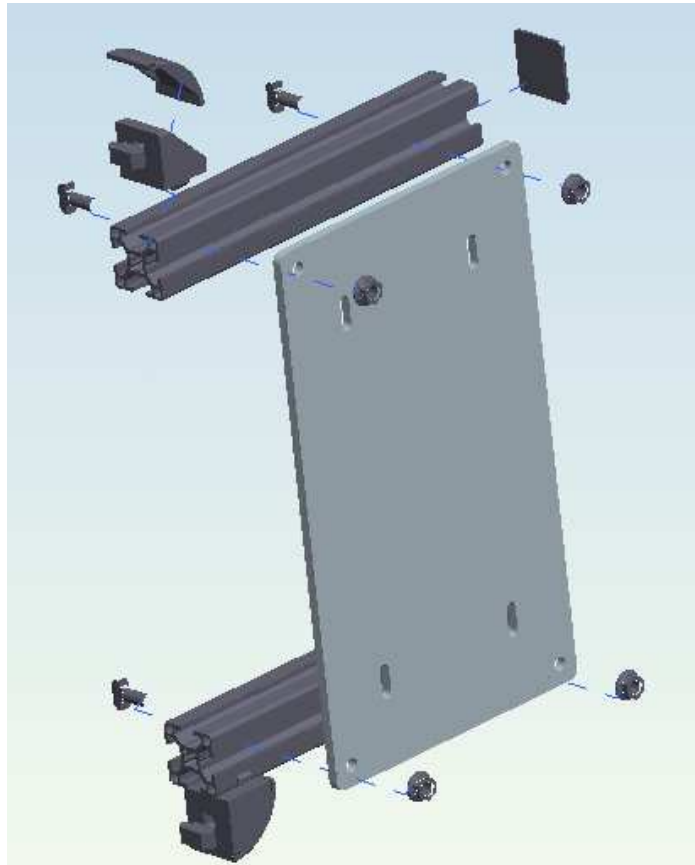


Figura 4.50. Explosionado subestructura del variador

Se puede apreciar en la imagen el detalle del interior de los perfiles, las tapas que mejoran el acabado de los perfiles y las escuadras además de proporcionar seguridad.

#### 4.4.3.2 MODELADO DEL SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN

El subsistema de transmisión (Figura 4.51) consta básicamente de: 2 poleas, una correa, los rodillos (en total son 4, uno motriz y otros 3 locos) y sus soportes. Anteriormente ya describí el sencillo proceso de modelado de la correa, aunque hasta dar con la forma de realizarla correctamente, costó bastante.

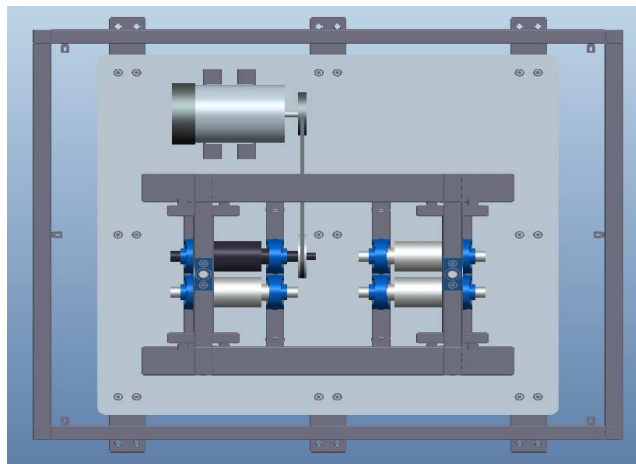


Figura 4.51. Esquema del subsistema transmisión

Una correa dentada (Figura 4.52 y 4.53) es la encargada de transmitir el movimiento del eje del motor al rodillo motriz.

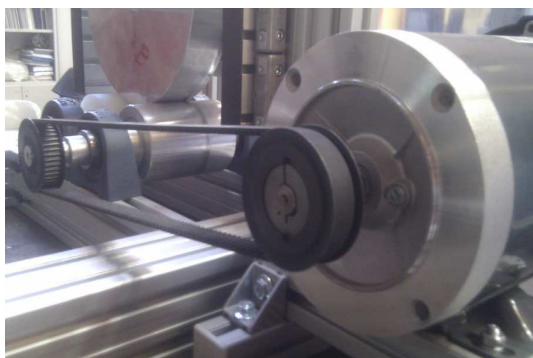


Figura 4.52. Fotografía subsist.transmisión

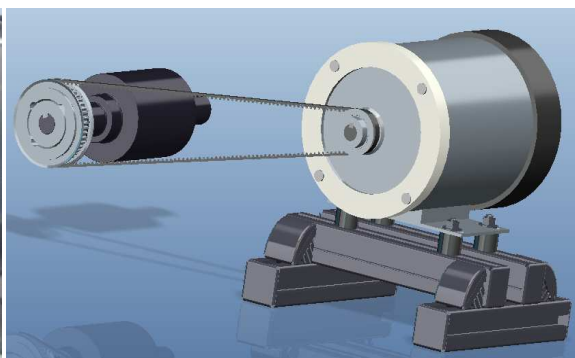


Figura 4.53. Modelado subsist.transmisión

Cada rodillo está sujeto por 2 soportes, los cuales poseen unos taladros para facilitar la unión mediante 4 tornillos (figura 4.54)

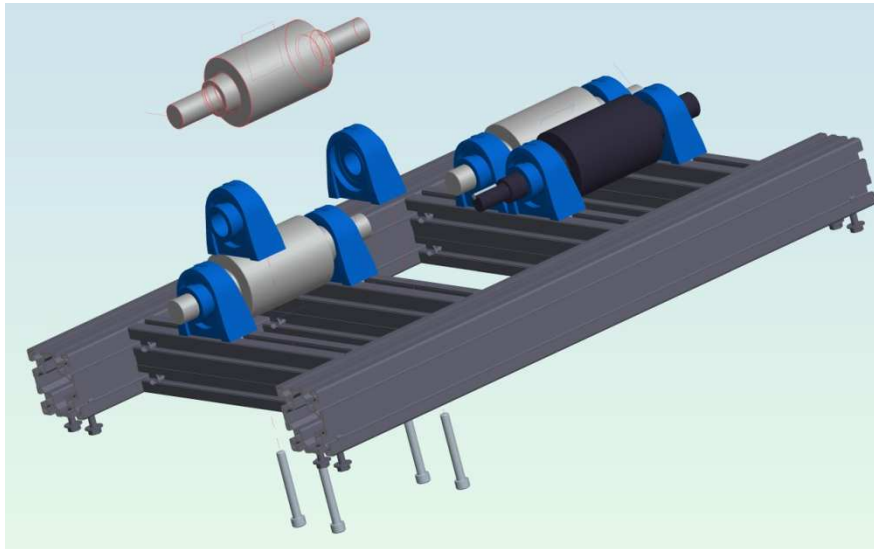


Figura 4.54. Explosionado soportes rodillos

El eje del motor gira solidario con su polea, transmitiendo el movimiento a la polea del rodillo motriz mediante la correa dentada. El rodillo motriz, mediante el contacto rueda-rodillo, transmite el movimiento al wheelset a escala (Figura 4.55).

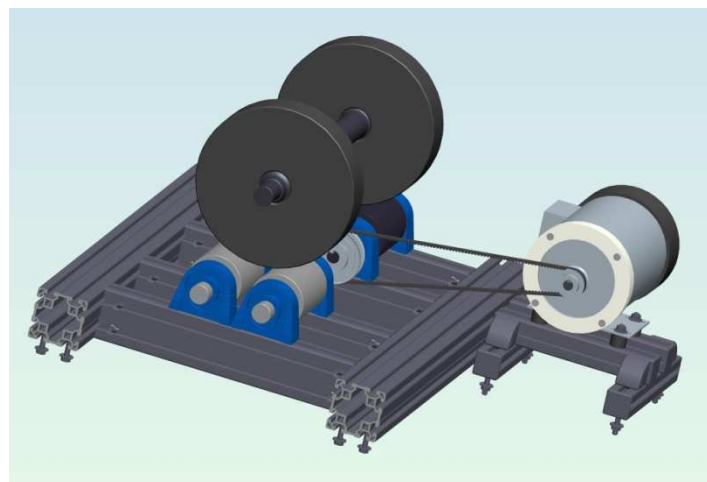


Figura 4.55. Modelado subsistema transmisión

#### 4.4.3.3 MODELADO DEL SUBSISTEMA DE CARGA

Este subsistema tiene un modelado más complicado debido a la cantidad de piezas con distintas geometrías que lo componen y los numerosos ensamblajes que conlleva. Está formado por un pórtico (Figura 4.56 y 4.57) que contiene el soporte del eje (uno a cada lado del wheelset) y la célula de carga que actúa sobre el taco de presión.



Figura 4.56. Fotografía del pórtico

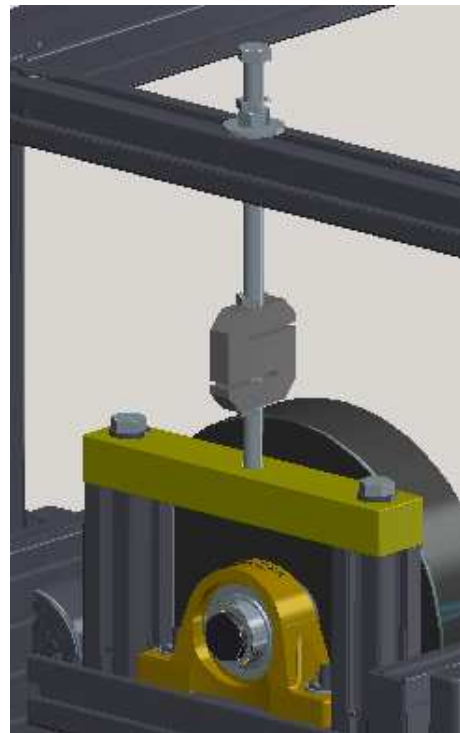


Figura 4.57. Modelado del pórtico

El taco de presión soporta la acción de la célula de carga (Figura 4.58) afectando así al eje para poder reproducir las condiciones deseadas de carga.

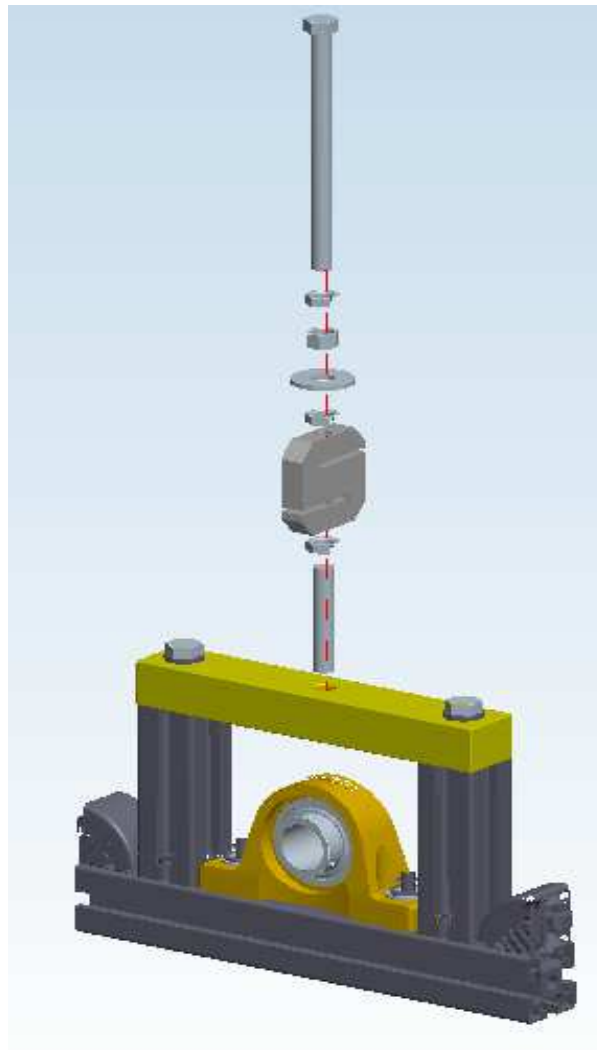


Figura 4.58. Explosionado del subsistema de carga

El pórtico que aloja los soportes del eje, se une al carrito de la guía lineal mediante dos escuadras exteriores (Figura 4.59). Se detalla la unión en T (Figura 4.60) que conforma el pórtico.

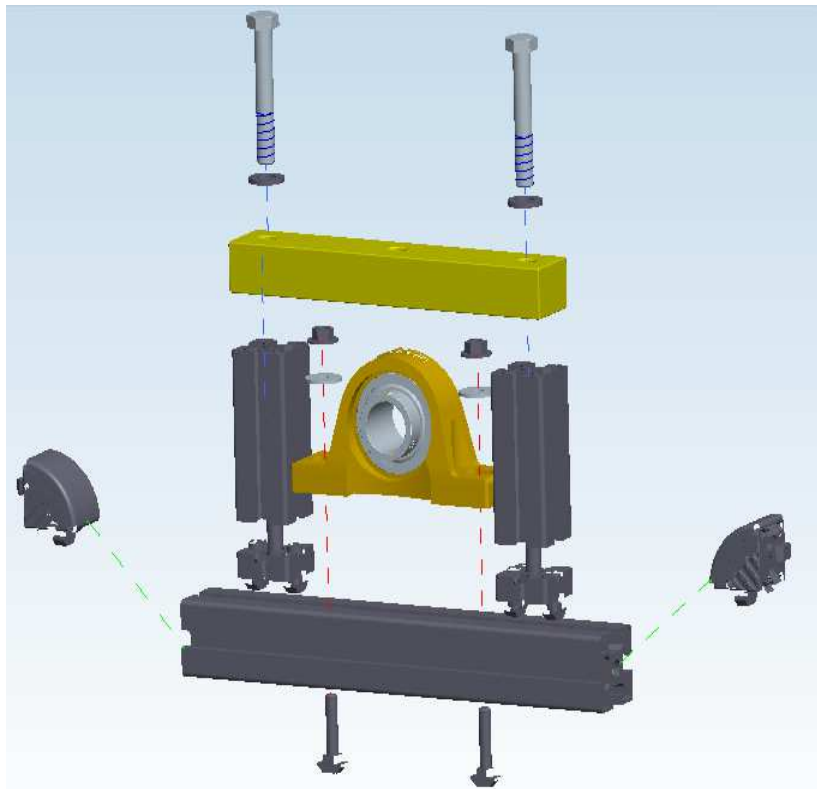


Figura 4.59. Explosionado del pórtico

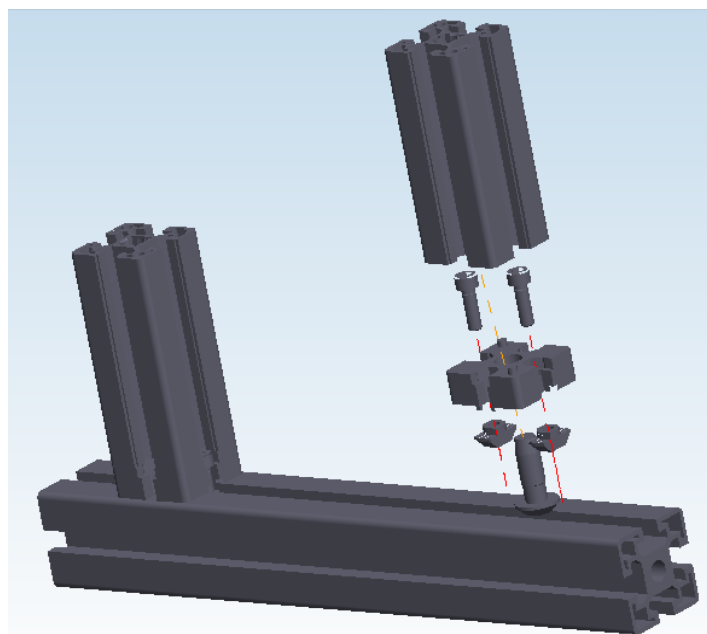


Figura 4.60. Detalle de la unión en T del pórtico

Este pórtico (Figura 4.61), sostenido por un carro a cada lado, se mueve gracias a unos “cojinetes de sustentación” con unos pequeños rodillos en su interior, que funcionan como ruedas del carro desplazándose verticalmente a lo largo del vástago alojado en el perfil de apriete de cada columna, (ya explicamos este sistema en el sistema de ensayo).

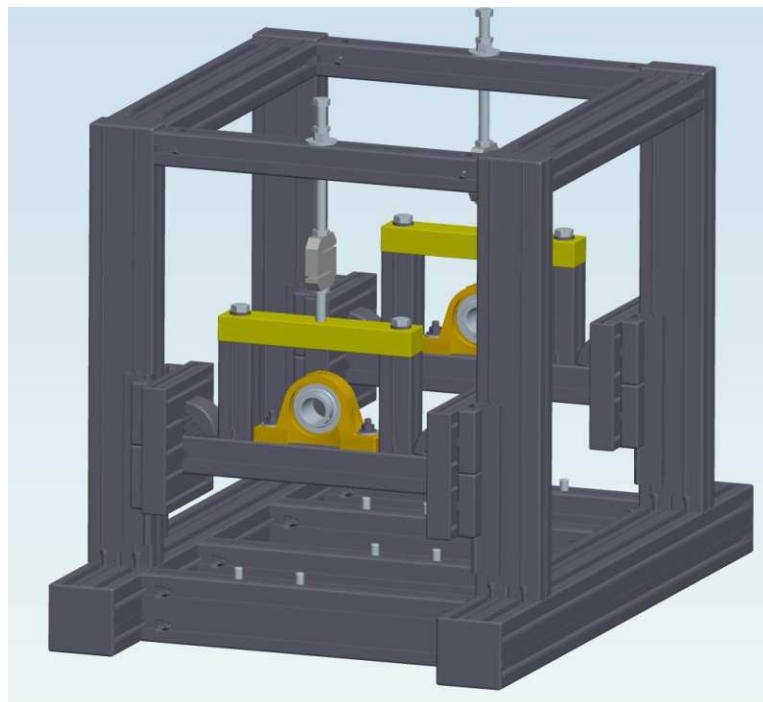


Figura 4.61. Conjunto pórtico carito

#### 4.4.3.4 MODELADO DEL SUBSISTEMA DE MEDIDA

En este apartado hemos modelado sólo las piezas con concierne directamente al banco de ensayos, es decir, la tarjeta de adquisición de datos, el equipo informático y el amplificador de señal no se han modelado. Por lo tanto, el modelado de este subsistema de medida se basa en los displays (Figura 4.62 y 4.63) y los acelerómetros (Figura 4.64 y 4.65)



Figura 4.62. Fotografía del display

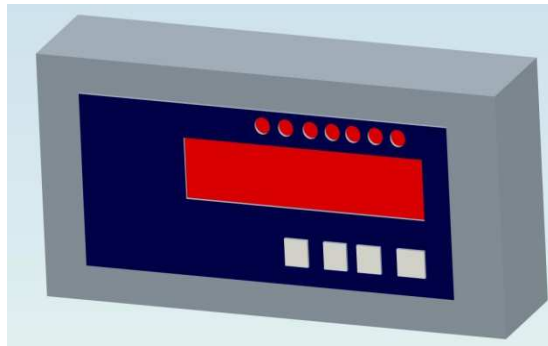


Figura 4.63 .Modelado del display



Figura 4.64 . Fotografía del acelerómetro

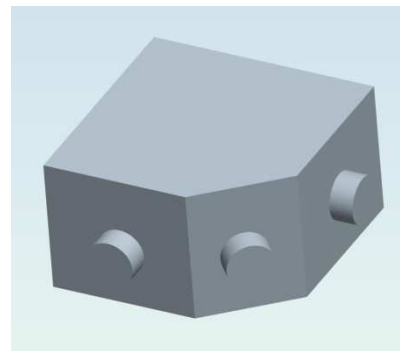


Figura 4.65. Modelado del acelerómetro







## **CAPÍTULO 5**

### **APLICACIÓN DIDÁCTICA**



## 5.1 INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de tener una mejor y más amplia comprensión del funcionamiento del banco de ensayos y todo lo que le concierne, se ha creado una aplicación didáctica orientada a que el estudiante de forma autodidacta o con ayuda de algún profesor, navegue libremente por ella accediendo a los diversos menús que liberan la información que necesite en cualquier momento.

La aplicación se ha desarrollado en formato pptx (PowerPoint 2007/2010), debido a que permite una creación sencilla con un resultado muy atractivo visualmente y se puede abrir en la mayoría de los hogares y puestos informáticos (la mayoría de los ordenadores tienen paquete de Office).

En total, consta de 5 archivos .pptx., pudiendo acceder a la información que contienen abriéndolos directamente o desde la aplicación principal “aplicación banco.pptx” (Figura 5.1) y navegando para acceder a las aplicaciones secundarias o subaplicaciones, todas ellas en el mismo formato, que contienen los temas o menús principales, los cuales son los siguientes:

- Introducción
- Descripción
- Vistas 3D
- Animaciones

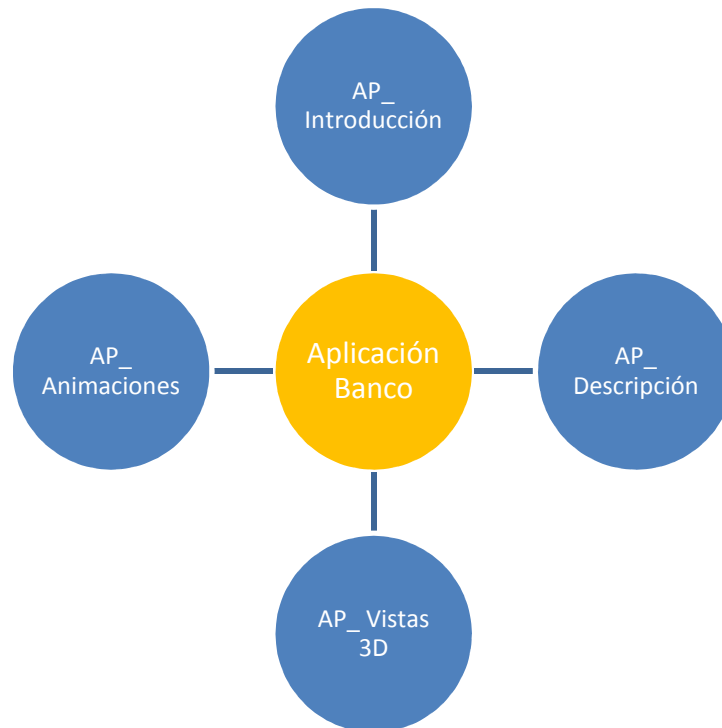


Figura 5.1. Esquema general de la aplicación

## 5.2 ESTRUCTURA

A continuación, en el siguiente esquema (Figura 5.2) podemos observar la estructura jerárquica que siguen las diapositivas de la aplicación. Las subaplicaciones tienen el cuadro de fondo verde, el menú principal en rojo y los submenús de cada tema en naranja. Los subtemas o diapositivas secundarias son las de fondo azul. Todas ellas están incluidas en el anexo de este documento:

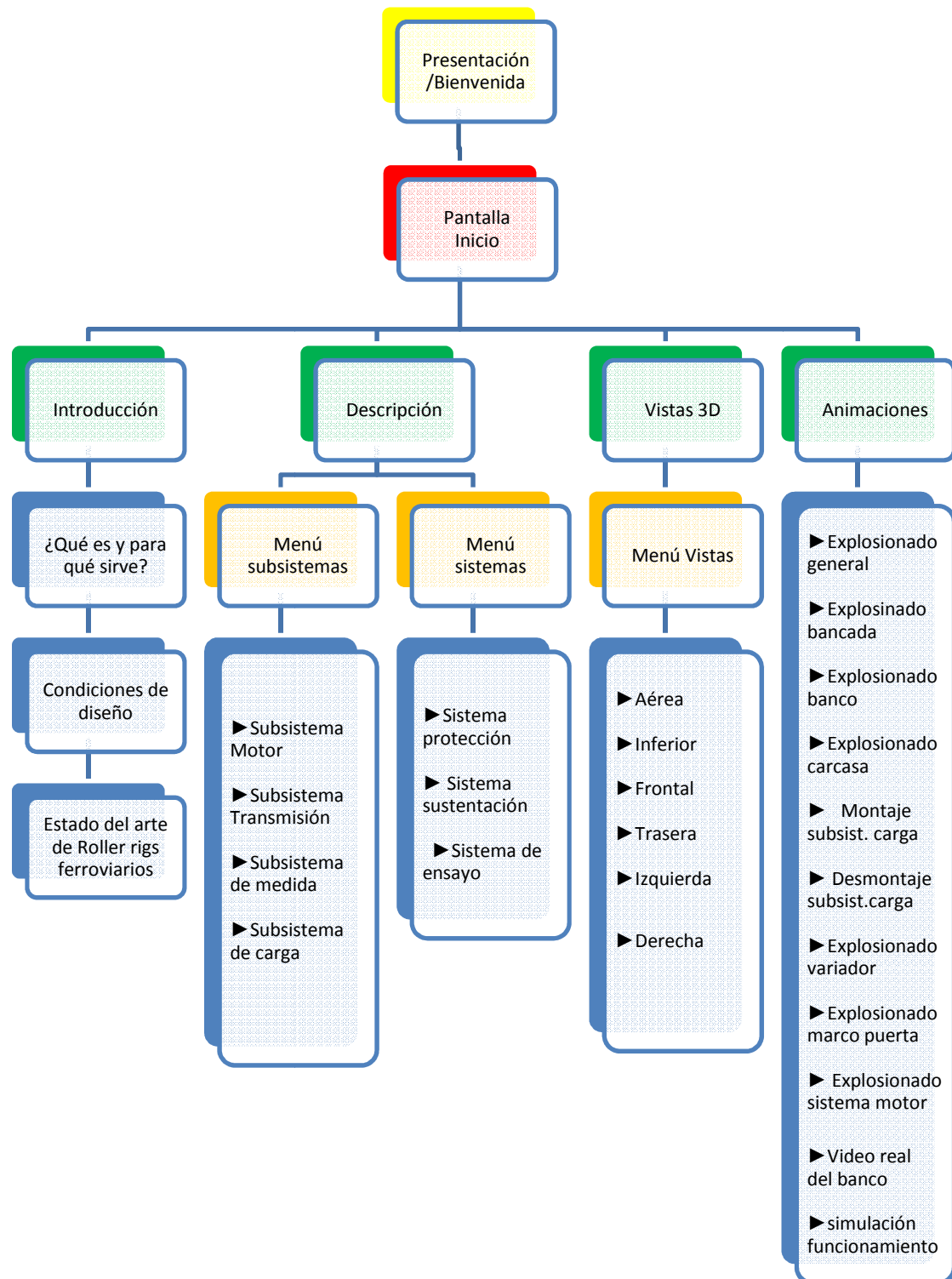


Figura 5.2. Esquema de la estructura jerárquica de la aplicación

Desde la pantalla de Inicio, se accede al contenido de las subaplicaciones. Cada una de ellas consta de información diferente respecto al banco de ensayo, detallaremos su contenido para guiar mejor nuestra navegación:

- **INTRODUCCIÓN:** Mediante 3 subtemas (Figura 5.3), incluye la siguiente información:
  - **¿Qué es y para qué sirve?:** Breve resumen de la función y utilidad de nuestro banco de ensayos.
  - **Condiciones de diseño:** Características más importantes del banco de ensayo a tener en cuenta para su fabricación y motivación de su diseño.
  - **Estado del arte de los roller rigs ferroviarios:** Breve resumen histórico de estos sistemas que nos han servido de inspiración.



Figura 5.3. Diapositiva principal de la subaplicación Introducción

- DESCRIPCIÓN: Se detalla con precisión todos los elementos y piezas de nuestro banco de ensayo. Para acceder a la información de forma organizada, se diferencia en dos submenús:

- “Menú Sistemas” (Figura 5.4) : podemos acceder a los 3 componentes principales de nuestro banco de ensayos



Figura 5.4. Diapositiva del Menú Sistemas de la subaplicacion Descripción

Recibiremos información detallada sobre cada uno de los 3 sistemas principales de nuestro banco de ensayos.

- “Menú Subsistemas” (Figura 5.5): Introduciéndonos más profundamente en el banco, accedemos al otro menú de esta subaplicación. En él, recibiremos información detallada sobre los distintos subsistemas: motor, transmisión, medida y carga.





Figura 5.5. Menú subistemas de la subaplicación Descripción

- VISTAS 3D: Esta subaplicación es puramente visual. Posee el “Menú Vistas 3D” (Figura 5.6), que nos muestra el banco de ensayos desde los distintos ángulos de forma interactiva pulsando en las flechas verdes del cubo de la izquierda.



Figura 5.6. Diapositiva Menú Vistas


- ANIMACIONES: Subaplicación destinada a mostrar todos los videos repartidos por la aplicación didáctica. Nos permite acceder a ellos de forma directa y ordenada (Figura 5.7).



Figura 5.7. Diapositiva de la subaplicación Animaciones

## 5.3 INTERFACE DE LA APLICACIÓN

La aplicación didáctica pretende dar una apariencia sencilla e intuitiva con la finalidad de proporcionar conocimientos e información sobre el banco de forma rápida y concreta. Accederemos a ella mediante el archivo “aplicación\_banco.pptx”.

NOTA: para la correcta visualización y navegación por la aplicación, es absolutamente imprescindible entrar en el “modo presentación” o “pantalla completa” mediante la tecla F5 o el icono habilitado para ello .

Tras detallar la información contenida en nuestra aplicación didáctica, mostramos como acceder a ella. Comenzamos con un par de diapositivas que incluyen una breve Bienvenida y Presentación:



Figura 5.8. Pantalla de Bienvenida de la aplicación

Posteriormente, accedemos a la pantalla de Inicio que contiene el “Menú Principal” (Figura 5.9), desde el cual podemos elegir el tema que deseemos.



Figura 5.9. Menú principal o pantalla de inicio de la aplicación

En todas las diapositivas, excepto en las de presentación, encontraremos a la izquierda de de éstas el “Menú de Navegación Lateral” (Figura 5.10), que nos permite navegar libremente entre los distintos temas sin importar dónde nos encontremos.

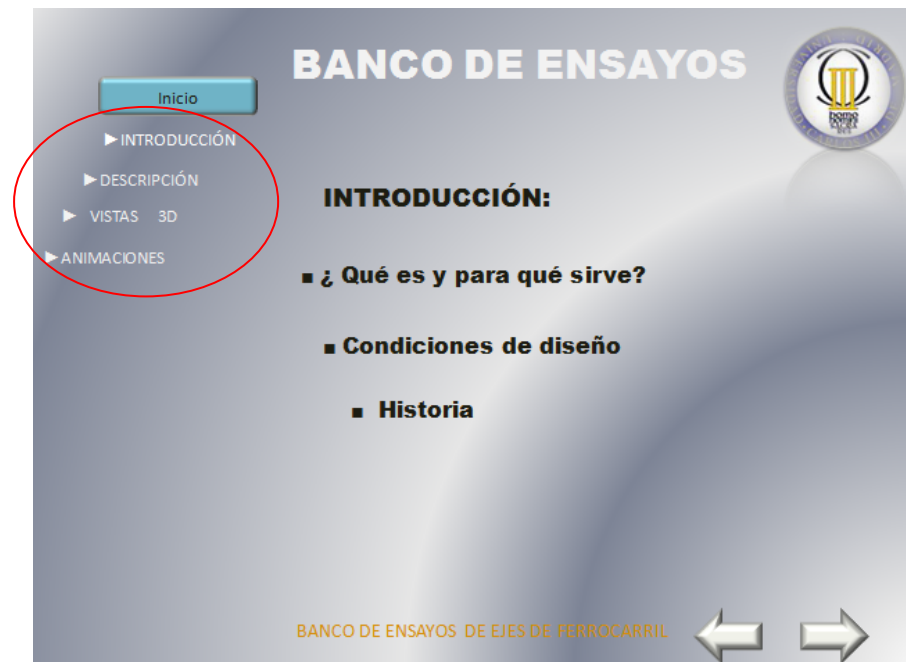


Figura 5.10 .Menú lateral de la aplicación

Este menú lateral nos lleva a la pantalla principal de cada sección, para poder elegir la subaplicación que nos interese en ese momento. Cuando estamos dentro de una categoría, ésta aparecerá en rojo para saber en todo momento donde nos encontramos, debajo del “Botón de Inicio” (Figura 5.11)



Figura 5.11. Detalle categoría seleccionada y botón de Inicio

Para facilitar la navegación por los contenidos de la aplicación y que resulte más sencillo para el usuario, se han habilitado una serie de botones:

- Botón siguiente y botón anterior: estos botones nos permiten navegar a la diapositiva inmediatamente posterior o anterior, respectivamente. Los encontraremos en la esquina izquierda inferior de las diapositivas.



Figura 5.12. Botones anterior y posterior

- Botones de animación: a lo largo de la aplicación y en la categoría de animaciones podemos encontrar estos iconos que nos indican que hay un video relacionado con la información que estamos viendo, abriéndonos el video:

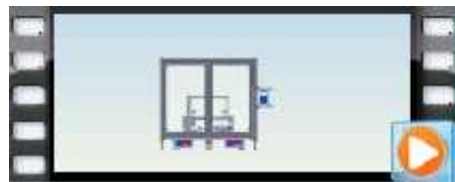


Figura 5.13. Icono video

Estas animaciones están en el formato de vídeo .mpg., elegido por su buena resolución y espacio ajustado.

- Botón de Inicio: nos permite regresar al inicio de la aplicación en cualquier momento, es decir, regresemos a la pantalla de bienvenida.

-

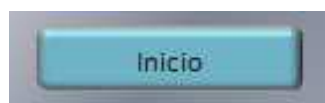


Figura 5.14. Botón Inicio



### 5.4 APLICACIÓN COMPLETA

Todas las diapositivas que forman la “aplicación didáctica del banco de ensayos se pueden encontrar en el Anexo B de este documento.

## **CAPÍTULO 6:**

# **PRESUPUESTOS**





Me dispongo a desglosar detalladamente las actividades, equipos y personal necesario para realizar este proyecto, con el objetivo de ofrecer un presupuesto que pueda servir como indicador del coste del proyecto. El desglose de costes se ha dividido en 4 grupos:

- Equipos utilizados para los ensayos experimentales: Estos equipos han sido todos en calidad de compra, ninguno de alquiler.
- Licencias de software: Pro-Engineer 5 y Microsoft Office 2010: Ambas licencias se compraran estimando una amortización de 1/10 para cada una de ellas.
- Personal: Estimación del coste de personal que ha colaborado en el proyecto. En nuestro caso, como ingeniero Senior, el tutor del proyecto Higinio Rubio Alonso, y como ingeniero Junior, el autor, Daniel Montoro García.
- Resto de costes directos: En este apartado entran los costes generales que faltan por detallar, como viajes, dietas, materiales fungibles, impresiones...

Ahora detallaremos la información económica de cada elemento, así como el presupuesto global para este proyecto fin de carrera:

## PRESUPUESTO DE PROYECTO

### Material para el banco:

• Perfiles de aluminio y demás elementos Bosch Rexroth	3753€
• Poleas y correas Gates	217€
• Planchas de protección	250€
• Barra poliamida Ø90 mm	45€
• Barra aluminio Ø90 mm	60€
• Placa variador	70 €
• Células de carga Senel	158€
• Tornillería	77 €
• Cableado y conectores	70€
• Tarjeta de adquisición de datos keithley DAS-1200	750€
• Acelerómetros triaxiales Brüel&Kjær 4321	1650€
• Amplificador de señal Nexus	6000€
• Displays Senel VN1	350€
• Wheelset a escala	265€
• Soportes SKF SY 30 TR	125€
• Soportes SKF SYF 30 TF	110€
• Cableado Acelerómetro – Amplificador	200€
• Cable apantallado, BNC + Conectores	150€

**Gastos informáticos, papelería y fungibles:**

• Equipo informático con impresora	1400€
• Toners y papel	500€
• Licencias programas:	
• Pro Engineer (amortización 1\10)	1000€
• Microsoft Office 2010 (amortización 1/10)	30€

**Mano de obra:**

• Ingeniería y redacción de la memoria	
• Ingeniería (80€/hora x 110 horas)	8800€
• Documentación y redacción (32€/hora x 150 horas)	4800€
• TOTAL	30.830€

El presupuesto total asciende a la cantidad de 30.830€

Presupuesto cerrado a 15 de Noviembre de 2012

El ingeniero proyectista,

Fdo. Daniel Montoro Garcia



## 7.CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

---



## **CAPÍTULO 7:**

# **CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS**

## 7.1 CONCLUSIONES

Tras finalizar el presente proyecto fin de carrera, se puede afirmar que se han cumplido todos los objetivos planteados al inicio de éste, de manera plenamente satisfactoria.

Se ha alcanzado con éxito el objetivo principal, “crear una aplicación informática sobre todo lo que concierne a un banco de ensayos de ejes de ferrocarril a escala desarrollado dentro del grupo de investigación Maqlab, del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid. Dicha aplicación puede ser empleada en la mayoría de los equipos informáticos, desarrollada en formato .pptx (PowerPoint 2007/2010), ya que este programa se incluye en el paquete de Ms-Office, ampliamente extendido en la mayoría de hogares y centros de estudio. Aprovechando esta cobertura nos aseguramos de que nuestra aplicación se pueda abrir sin problemas en la mayoría de los ordenadores, sin necesidad de que tengan unos requisitos elevados”.

Además, este proyecto presenta las siguientes aportaciones:

- Remodelado de un banco de ensayos de ejes ferroviarios con el programa Pro-Engineer, partiendo de un diseño previo desarrollado dentro del grupo de investigación Maqlab, de la Universidad Carlos III de Madrid. El modelado conseguido es muy realista y similar al original en cuanto a diseño, dimensiones y aspecto.
- Esquemas de montaje, explosionados e imágenes de los diferentes elementos que forman el banco de ensayos.
- Vídeos de carácter didáctico que ayudan a la comprensión del sistema, creadas con el mismo programa que el remodelado, gracias a que en todo momento se guardaron las relaciones geométricas.
- Estudio del estado de la tecnología de los roller rigs para sistemas ferroviarios en la actualidad.

Todo esto, reunido de forma organizada, da vida a nuestra inteligente aplicación, otorgándole un carácter interactivo, sencillo y completo, que permite al usuario navegar por sus menús de forma amena, con gran cantidad de imágenes y videos. La aplicación puede ser utilizada tanto en formación dirigida por un profesor como en aprendizaje autodidacta.

### 7.2 FUTUROS TRABAJOS

Se proponen las siguientes evoluciones futuras:

- Realizar un estudio de mejora y perfección del banco, que mejore su comportamiento en cuanto a desgaste en funcionamiento.
- Implementación de la aplicación didáctica en otros formatos, como por ejemplo el formato web, dándole unas posibilidades de visualización “on line” con mayor accesibilidad.
- Completar la aplicación con los resultados de los ensayos de vibraciones con los wheelset y con ello realizar una guía visual de caracterización de defectos, así como un estudio del comportamiento de éste.





## 7.CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

---



## **BIBLIOGRAFÍA**

## **Libros**

1. ALFONSO ZAMORA ABAD *Estudio mecánico avanzado de un eje de ferrocarril*, Proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III
2. ARTURO CANO BREA *Diseño de aplicación informática para docencia en diagnosis de defectos en rodamientos*, Proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III
3. SIMON IWNICKI *Handbook of Railway Vehicle Dynamics* Ed. Taylor& Francis, 2001
4. JUAN PABLO TOJANCÍ DUQUE *Cuadernos de Investigación: Artículos de los proyectos de Grado realizados por los estudiantes de Ingeniería Mecánica* Universidad EAFIT, Medellín, 2007
5. MORITZ GRETZSCHEL AND ALFRED JASCHINSKI *Vehicle Systems Dynamics: Design of an Active Wheelset on a Scaled Roller Rig* Ed. Taylor& Francis, 2004
6. ANYAKWO, A., PISLARU, CRINELA, BALL, ANDREW AND GU, FENGSHOU *Dynamic simulation of a roller rig* University of Huddersfield Repository, 2012
7. BOSSO N., GUGLIOTTA A., NAPOLI E., SOMÁ A. *Simulation of a scaled roller rig* Universidad Politécnica de Torino, Italia 2000

## **Manuales**

8. SKF. Catálogo General 2006
9. Senel. Catálogo 2010
10. Gates. Desing Manual 2005
11. Marathon Electric. Installation, Operation and Maintenance Instructions, 2009
12. Lenze. Manual Equipo ESMV.2010
13. Manual Pro Engineer PTC 2010

## **Páginas web**

<http://www.skf.com>

(última visita: 5/10/2012)

<http://www.danobatgroup.com>

(última visita: 31/10/2012)

<http://www.marathonelectric.com/>

(última visita: 15/9/2012)

<http://www.boschrexroth.es/>

(última visita: 22/10/2012)

<http://www.streiter.com/Veroeffentlichungen/230.pdf>

(última visita: 29/10/2012)

<http://portal.railresearch.org.uk/RRUK/Shared%20Documents/rssba3.pdf>

(última visita: 2/11/2012)

<http://www.nichese.com/motor.html>

(última visita: 12/09/2012)

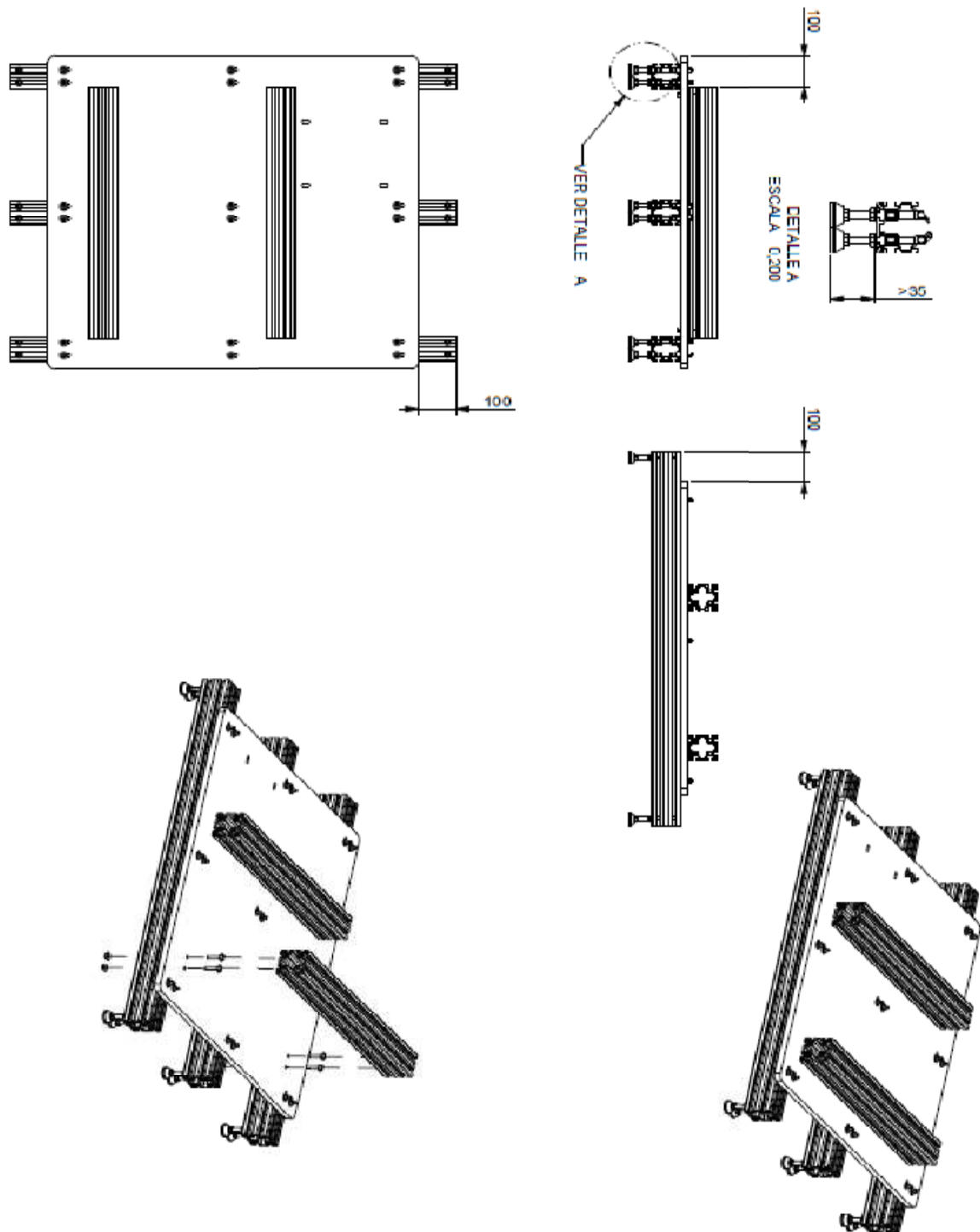
<http://www.railway-technical.com/whlbog.shtml>

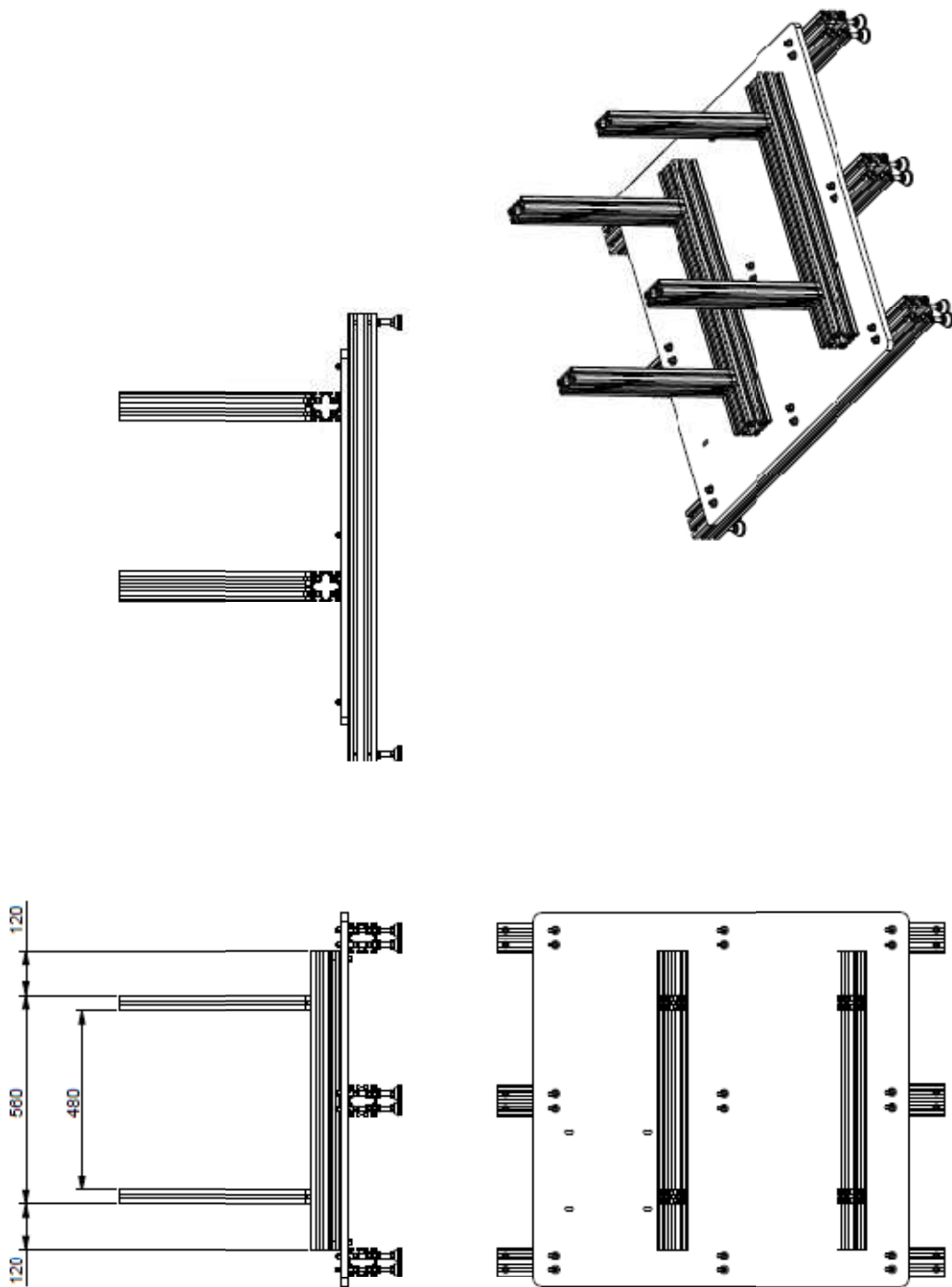
(última visita: 31/09/2012)



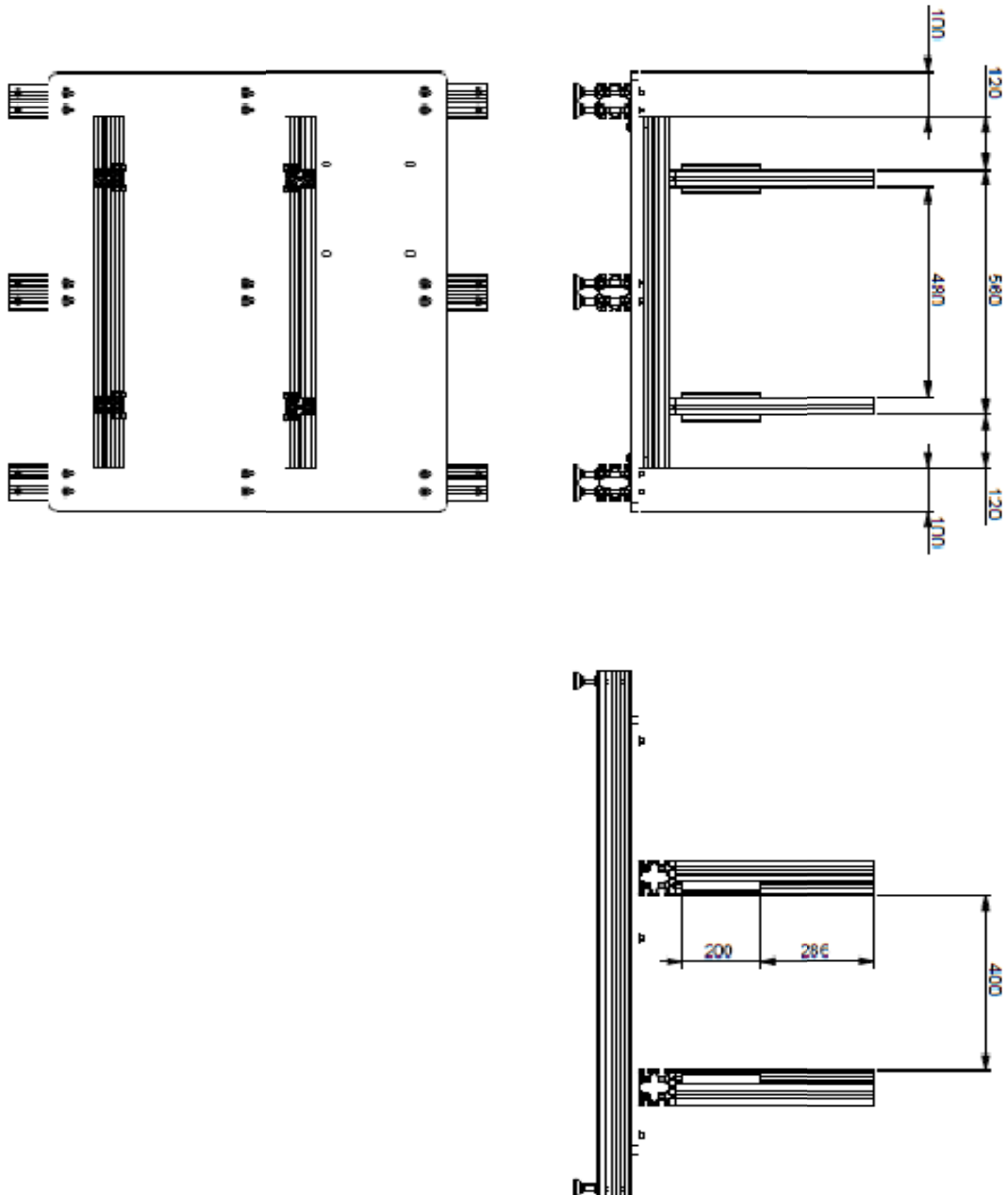
## ANEXO

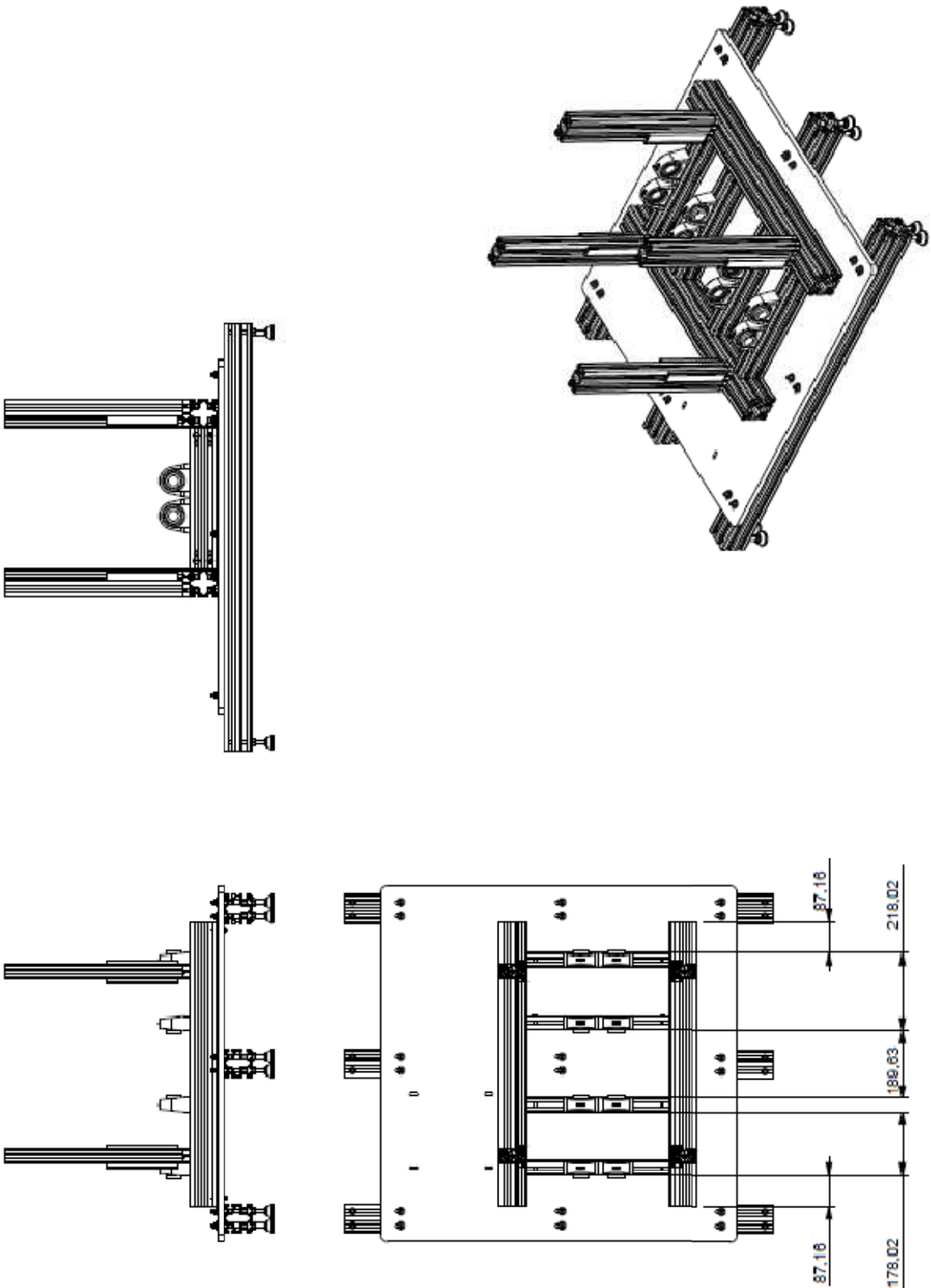
# PLANOS Y DIAPOSITIVAS

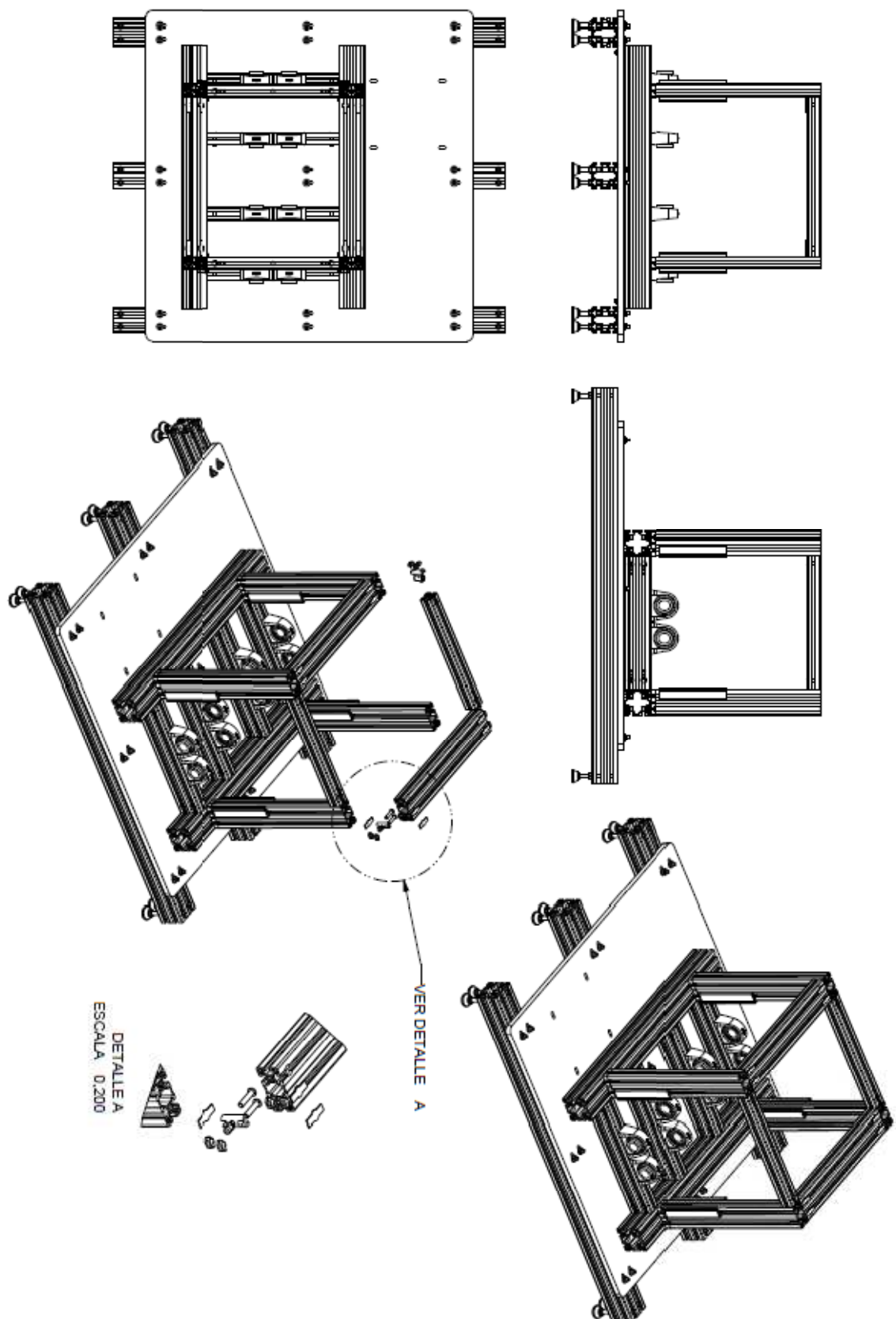




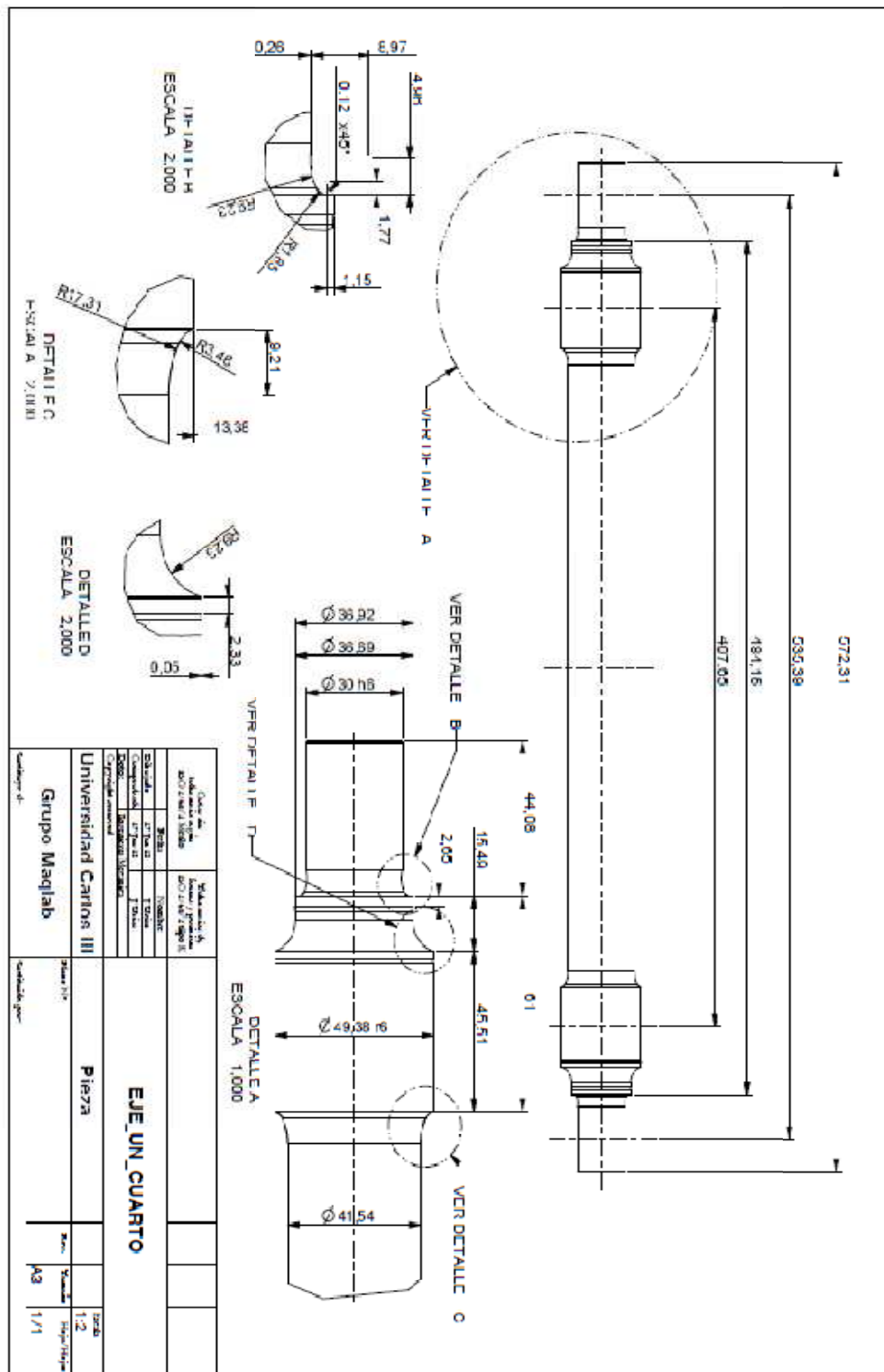


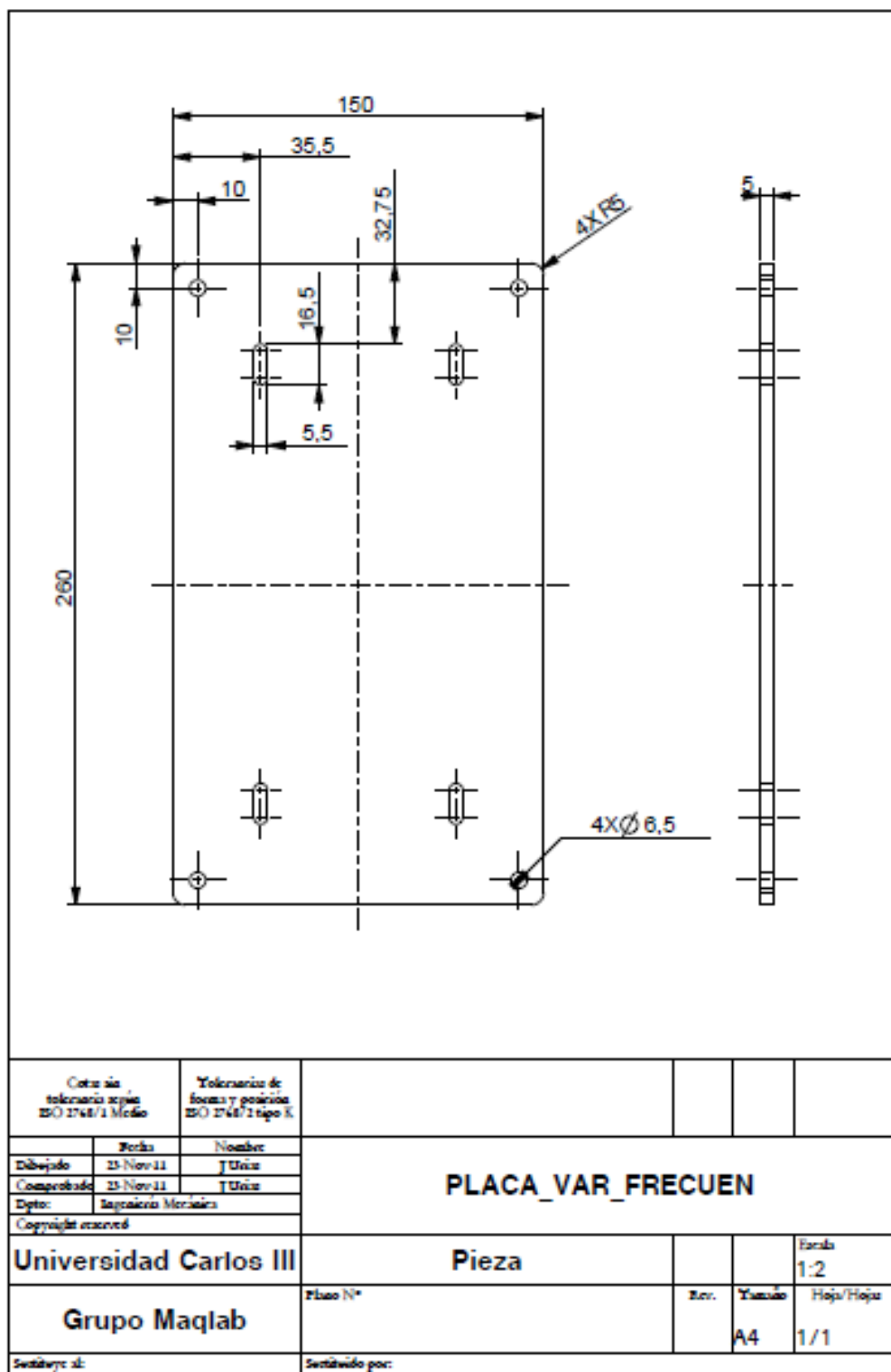


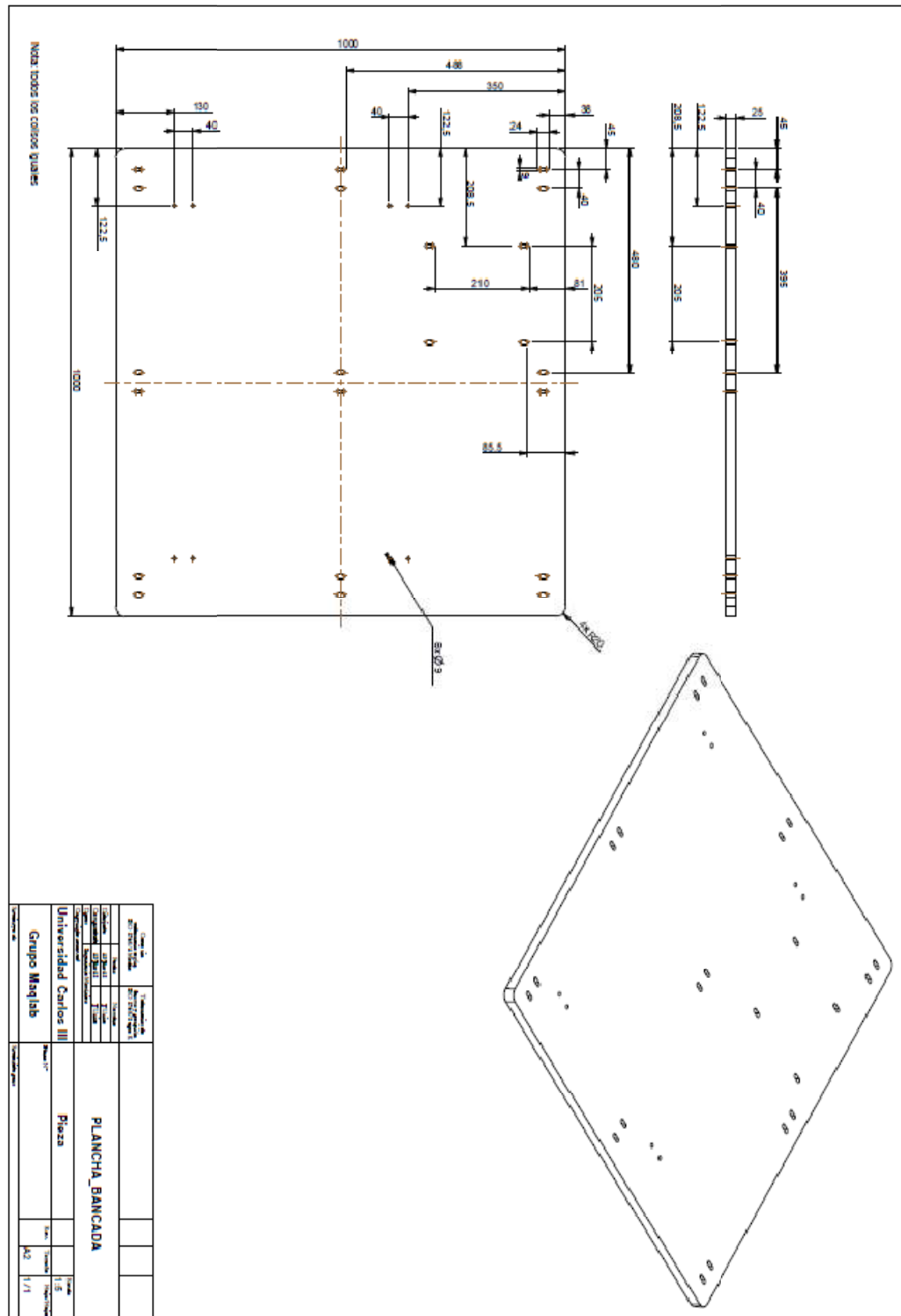


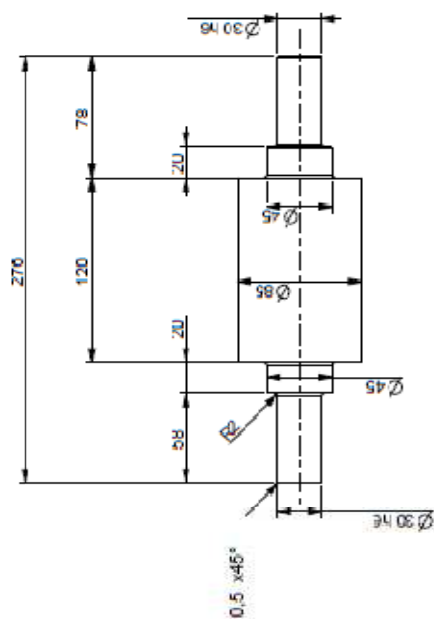
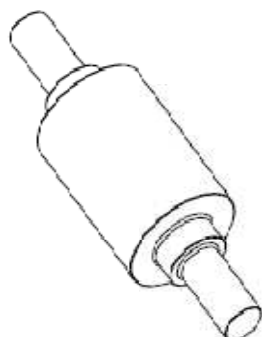




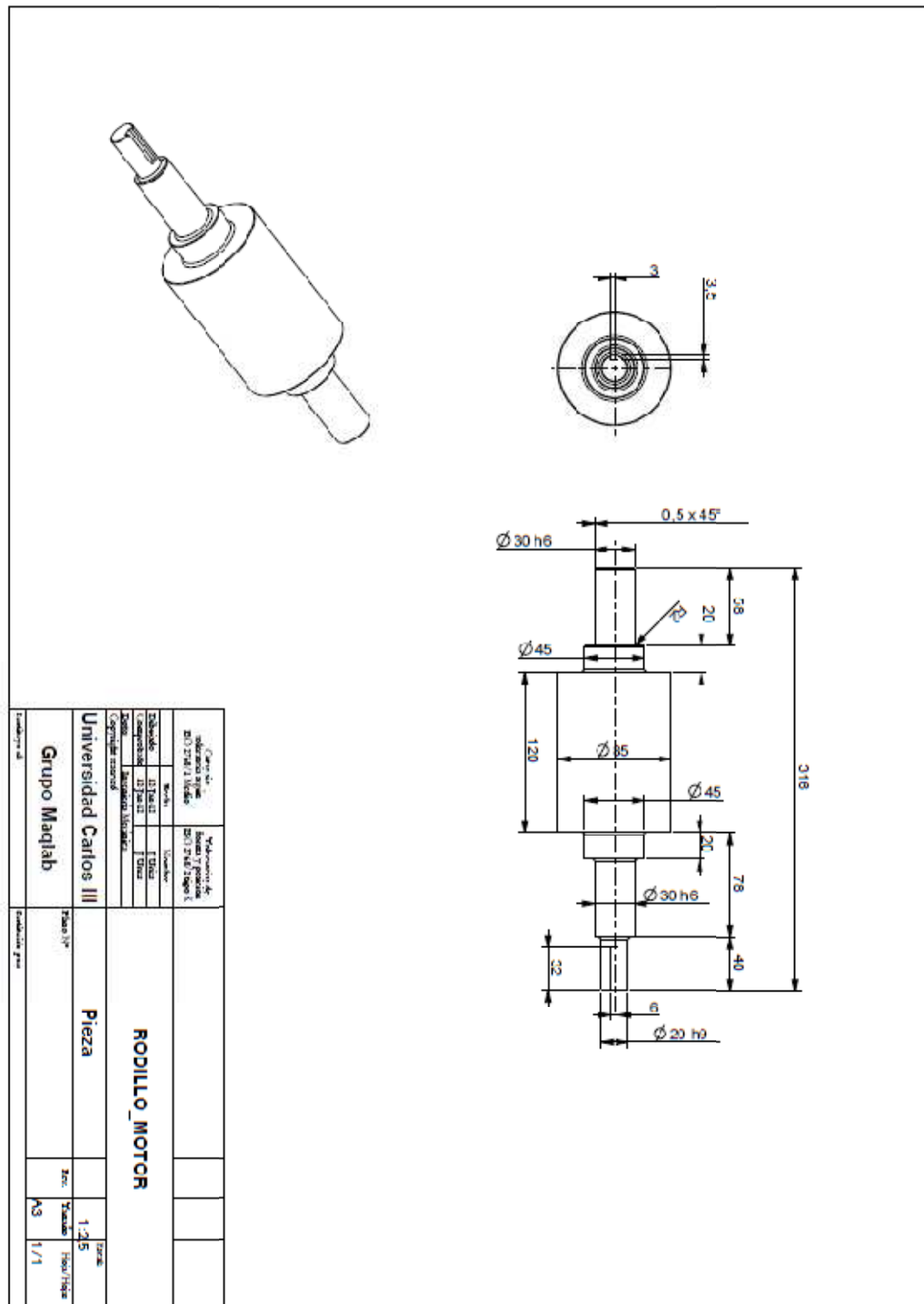






[illegible]

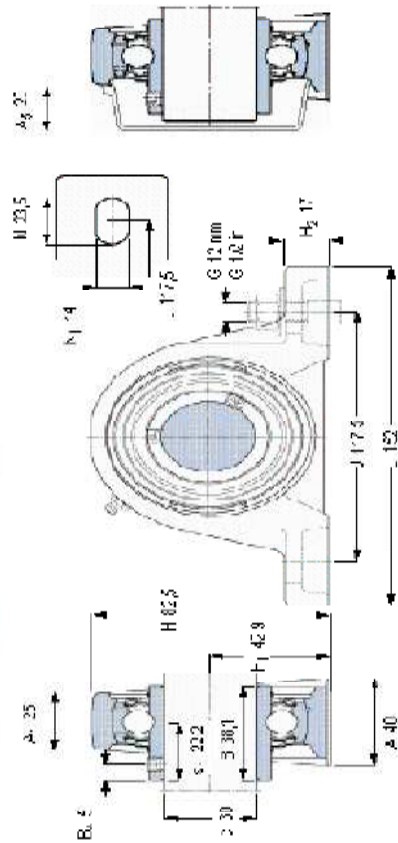






Soportes de pie con rodamientos Y, soporte de fundición, prisionero, rodamientos métricos

Dimensiones		Capacidades de carga			Velocidad	Masa	Designaciones	Soporte	Rodamiento
d	A	H	L	C	límite con eje de tolerancia H6	C <sub>0</sub>	Unidad de rodamiento		
mm		mm			rpm		kg		
30	40	82.5	42.9	152	19.5	11.2	SY 30 TR	SY 508 M	YAR 205-2RF
kN		rpm			kg				
3000		1.1			3900				

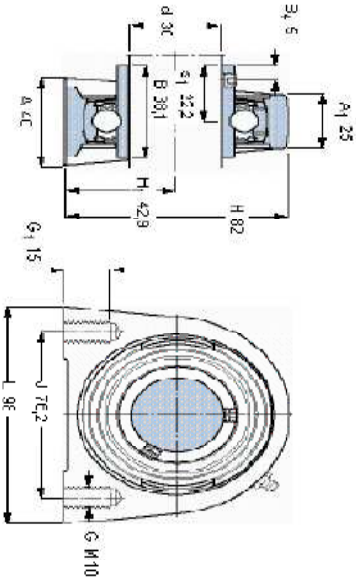


Prisionero  
Per de acero recomendado 11m  
Cantidad de la llave horizontal [m]  
Tapa  
M6x0.75  
4  
3  
Ecc 20E



Soportes de pie con rodamientos Y, soporte de fundición con base corta, prisionero

Dimensiones		Capacidades de carga		Velocidad	Masa	Designaciones	Soporte	Rodamiento
		dinámica	estática	límite con eje de tolerancia f6		Unidad de rodamiento		
d	A	H	H <sub>1</sub>	L	C	C <sub>2</sub>		
mm								
kg								
rpm								
30	40	82	42,9	98	19,5	11,2	6300	0,90
SYF 30 TF								
SYF 505								
VAR 206-2F								



**Prisionero**  
Par de apriete recomendado [Nm]  
Tamaño de allave hexagonal [mm]

M 30x1,75  
4  
3





## BIENVENIDO A:

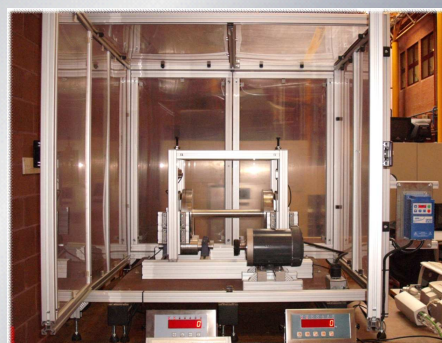
# BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL A ESCALA

Autor: Daniel Montoro García  
Tutor: Higinio Rubio Alonso

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL

## PRESENTACIÓN DEL BANCO

A grandes rasgos, se trata de un banco de ensayos mecánico destinado a realizar mediciones que caractericen el comportamiento dinámico de un wheelset a escala 1:4, como pueden ser fatiga y vibraciones producidas en el funcionamiento.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL









**BANCO DE ENSAYOS**

**INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS**

¿Qué es y para qué sirve?

Desde un lenguaje coloquial, se trata de un banco de ensayos mecánico, cuya función dinámica es hacer girar wheelset a escala 1:4,333 para realizar estudios de los efectos dinámicos del eje en las condiciones de carga elegidas.

Su diseño, el cual detallaremos a continuación, a de asegurar que podamos caracterizar el comportamiento dinámico de los wheelset a estudiar, así como los diferentes defectos que pueda presentar el eje o las ruedas.

Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL





**BANCO DE ENSAYOS**

**INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS**

¿Qué es y para qué sirve?

Teniendo en cuenta que el ciclo de desarrollo completo para un vehículo nuevo abarca mucho tiempo, desde diseño de prototipos, fabricación de tales, pruebas en las vías, acciones correctivas, puesta en marcha de la producción...es de vital importancia los ensayos en el banco, pues supone un ahorro de costes y tiempo. Sin necesidad de invertir grandes cantidades, aportar innovaciones que puedan mejorar la actual tecnología ferroviaria.

Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



Inicio

## BANCO DE ENSAYOS

## ► INTRODUCCION

## ► DESCRIPCION

## ► VISTAS 3D

## ► ANIMACIONES

## INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

¿Qué es y para qué sirve?

Su principio de funcionamiento es muy sencillo, teniendo como misión hacer girar un eje de ferrocarril a escala, a una velocidad previamente elegida y con una carga aplicada en cada extremo del eje en dirección radial. El eje gira gracias a un motor eléctrico con un sistema de transmisión por correa que mueve un rodillo motriz y para aplicar la carga utilizamos unas células de carga con un sistema de medida mediante acelerómetros.

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



Inicio

## ► INTRODUCCION

## ► DESCRIPCION

## ► VISTAS 3D

## ► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

## INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

Condiciones de diseño

Sólo se ha fabricado un banco, objeto del modelado y diseño que nos ocupa, con el requisito de que sea apto para los ensayos. Las características más relevantes a la hora de diseñar nuestro banco, teniendo en cuenta la finalidad de su fabricación, son las detalladas a continuación:

- Posibilidad de reproducir diversas condiciones de trabajo sobre los ejes elegidos. Para ello se dispone de un sistema de actuación capaz de aplicar carga sobre el eje, de forma regulada, en dirección radial.

- Sencillez y fiabilidad en la regulación de los esfuerzos que se apliquen al eje que estudiemos.

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL





Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES



## BANCO DE ENSAYOS

### INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

#### Condiciones de diseño

- Posibilidad de regular la velocidad de giro adecuadamente y con precisión, manteniendo la estabilidad adecuada en cualquier régimen de vueltas.
- Diseño que no comprometa la seguridad del usuario y permita un fácil y cómodo manejo a la hora del montaje y desmontaje del wheelset.
- Sistema de medida que permita una interpretación de datos sencilla y fiable, aportando información sobre la carga, velocidad y vibraciones del sistema.
- Posibilidad de incorporar nuevos elementos mecánicos.

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES



## BANCO DE ENSAYOS

### INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

#### Condiciones de diseño

El banco está diseñado sobre una estructura cuyos elementos principales son perfiles de la marca Bosch Rexroth, elegidos por su infinidad de posibilidades, facilidad de montaje, rigidez aceptable y buen amortiguamiento.

La transmisión de potencia del motor al rodillo motriz se realiza de forma elástica mediante una correa.

Es un banco modular, es decir, el banco en sí es sólo la estructura base, soportes para el eje y los rodillos, y los elementos de fijación del sistema de alimentación y de carga. El sistema de accionamiento del motor va anclado ala carcasa, el sistema de carga y el de medida son portátiles.

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



[Inicio](#)

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

### INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

#### Historia

Como inspiración para nuestro diseño, lo más semejante en la actualidad para llevar a cabo estos ensayos son los “roller rigs” o plataformas de rodillos. El banco de ensayos que nos ocupa, es similar a un “roller rig”, pero con 2 diferencias importantes:

1. Opera con wheelset, es decir, sólo el eje con las ruedas, y no con bogies o incluso vagones enteros en ocasiones.
2. Tiene 2 puntos de contacto rueda-rodillo, uno poliamida-metal y otro metal-metal para asemejarlo mas a la realidad. Los roller rigs suelen llevar sólo un punto de contacto

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL




[Inicio](#)

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

### INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

#### Historia

Las plataformas de rodillos “roller rigs” se empezaron a utilizar hace 100 años para las locomotoras de vapor, por lo tanto eran a escala real. Una de las primeras instalaciones en construir este sistema fue la Great Western Ferrocarril en la fábrica de Swindon (suroeste de Inglaterra) en 1904. Posee rodillos móviles para hacer coincidir los centros de la rueda y rodillo, alcanza altas velocidades y tiene un sistema de frenado para medir la tracción de la locomotora. A partir de aquí, diversos roller rigs comenzaron a fabricarse por todo el mundo con diferentes características y posibilidades, siendo este el precursor.

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL




Página | 199



[Inicio](#)  
[▶ INTRODUCCION](#)  
[▶ DESCRIPCION](#)  
[▶ VISTAS 3D](#)  
[▶ ANIMACIONES](#)

## BANCO DE ENSAYOS



### INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

#### Historia

En 1957, el Instituto de investigación ferroviaria de Japón construyó un equipo de rodillos a gran escala con dos ejes, utilizando un rodillo excéntrico para crear excitación sinusoidal.

En esta época se construyen varios equipos, como:

- en 1964 en Francia, una plataforma de rodillos con sistema de control hidráulico para movimientos verticales;
- 1967 , en Berlín, con la finalidad de mejorar frenos y suspensión;
- en 1977 en Munich, el roller rig *Deutsche Bahn* (fotografía) con rodillos de 4 grados de libertad y una fuerte influencia en los trenes de alta velocidad;
- en 1978 en Pueblo, Colorado (USA), soportaba velocidades de hasta 480 km/h.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



[Inicio](#)  
[▶ INTRODUCCION](#)  
[▶ DESCRIPCION](#)  
[▶ VISTAS 3D](#)  
[▶ ANIMACIONES](#)

## BANCO DE ENSAYOS



### INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

#### Historia

■ **Roller rig de Chengdu (China):** Esta instalación a escala real fue llevada a cabo por el Laboratorio Estatal de Fuerza de Tracción (Southwest Jiaotong University), comenzando su desarrollo en 1989 y poniéndolo en servicio en 1995. Entre 1995 y 2005 fueron probados mas de 50 vehículos. La plataforma original tenía 4 conjuntos de rodillos, viéndose mejorada en 2002 con 6 conjuntos de rodillos, con velocidades de rotación diferentes entre ellos. Sus características son las siguientes:

- Movimiento independiente de los rodillos en dirección Y, X y Z, para simular las distintas irregularidades del calibre, pista y alineación .
- Giro de los rodillos en el eje X y Z para simular el ángulo de inclinación en curva y su tangente.
- Rotación de dos rodillos a la misma velocidad alrededor del eje Y, simulando velocidad de paso por curva y avance.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



Inicio

▶ INTRODUCCION

▶ DESCRIPCION

▶ VISTAS 3D

▶ ANIMACIONES

# BANCO DE ENSAYOS

INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

Historia

■ **Roller rig de Nápoles** (Italia): Se completó a finales de 1992 en el Centro de Investigación del Transporte Ansaldo, con un desarrollo para vehículos de 4 ejes pero con la posibilidad de futuras ampliaciones a 6 ejes.

Su función es probar la tracción de locomotoras de ferrocarril y sus rodillos sólo giran alrededor del eje X simulando la trayectoria recta. Permite probar vehículos con las siguientes características:

- Peso máximo del vehículo 100 T, 25 T por eje y una velocidad máxima 250km/h.
- Diámetro de rueda 500-1400 mm
- Máximo esfuerzo de tracción por eje 100 kN
- Rango de calibres disponibles 600-1700 mm
- Distancia entre ejes el bogie 1400-3500 mm
- Distancia entre bogies 5200-22000 mm
- Potencia máxima continua en el eje 1500 kw

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL

Inicio

▶ INTRODUCCION

▶ DESCRIPCION

▶ VISTAS 3D

▶ ANIMACIONES

# BANCO DE ENSAYOS

INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

Historia

■ **Roller rig de Tokyo:** Construido en 1957 por el Insitituto de Investigación Técnica Ferroviaria, contribuyendo en gran medida a la investigación y desarrollo de los bogies de alta velocidad de Shinkansen, principalmente en cuanto a medidas contra el descarrilamiento de vagones de carga, frenado regenerativo y bogies sin refuerzos. En 1989, la instalación fue renovada obteniendo importantes mejoras:

Gauge	1.000 ~ 1676 mm(variable)
Minimum wheelbase	1600 mm
Maximum test speed	500 km/h
Maximum axle load	200 kN
Diameter of roller	1500 mm
Lateral displacement	0 ~ 1 Hz Max. ± 30 mm
	3 Hz Max. ± 10 mm
	10 Hz Max. ± 2 mm
	Maximum acceleration 10 m/sec <sup>2</sup>
Vertical displacement	0 ~ 1.8 Hz Max. ± 12 mm
	25 Hz Max. ± 0.4 mm
	Maximum acceleration 10 m/sec <sup>2</sup>
Rolling displacement	0 ~ 2 Hz Max. ± 0.011 rad
	15 Hz Max. ± 0.0006 rad
	Maximum acceleration 5 rad/sec <sup>2</sup>

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



[Inicio](#)

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

### INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

#### Historia

■ **Roller rig de Pueblo** Denominado “Unidad de rodillo dinámico” RDU y creado por el Laboratorio de Dinámica en Rail en Colorado (USA) en 1978, estaba patrocinado por la Administración Federal de Ferrocarriles del Departamento de Estados Unidos.

Permite una velocidad máxima de 230 km/h con elementos modulares para bogies diferentes, distancia entre ejes y anchos de vía distintos. . Se puede probar vehículos de 4 ejes, bogies de locomotoras e incluso locomotoras de 6 u 8 ejes con el uso de los soportes de apoyo auxiliares.

Permite la simulación en vía recta sin irregularidades laterales o verticales y la simulación sobre geometría curva plana. Unos volantes de inercia que simulan las fuerzas resistivas asociadas a la aceleración de frenado del vehículo. Mediante unos actuadores hidráulicos se pueden aplicar fuerzas laterales, constantes o vibratorias, al bastidor de un bogie.

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL

[Inicio](#)

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

### INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

#### Estado del arte de los roller rigs ferroviarios

■ **Roller rig de Seul:** Desarrollado por la Universidad de Ciencia y Tecnología de Seul (Corea) e instalado en el Centro de Investigación Nacional en 2011. Este sistema opera con bogies a escala 1/5. Sus características son las siguientes:

Description	Specification
Base frame	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material : 100 mm × 100 mm steel pipe welding frame</li> <li>- Dimension : 1120 mm × 1120 mm</li> <li>- Finishing work : Painting after sanding</li> <li>- Color: White</li> </ul>
Main Motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Motor type : AC motor</li> <li>- Power : 220 V 3P</li> <li>- Control : controls by main control software</li> <li>- Spindle with powerful hardness included</li> <li>- Velocity range : 0 ~ 1150 rpm</li> <li>- Hour meter included</li> </ul>
Cant adjusting equipment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Range : 0 ~ 160 mm (scaled)</li> <li>- Figure : Shape of screw or the one that is equivalent to it</li> </ul>
Attacking angle adjusting equipment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Range : -3° ~ +3°</li> <li>- Figure : Shape of screw or the one that is equivalent to it</li> </ul>

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL

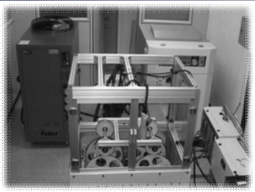
**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES



## BANCO DE ENSAYOS

### INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

#### Estado del arte de los roller rigs ferroviarios

■ **Roller rig de Seul (continuación). Características:**

Hydraulic generating equipment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soundproof insulation and cover : below 70 dB</li> <li>- Stainless Steel material</li> <li>- Motor : 6 poles. Voltage : 380 or 220 Volts, 60 Hz, 3 Phase</li> <li>- Plate type heat exchanger (Stainless Steel for anti corrosion)</li> <li>- On/Off pressure control</li> <li>- Cooling water Flow control by utilizing automatic control valve</li> <li>- Embedded Filtering equipment below 3 micron</li> <li>- Monitoring &amp; Alarm system (Force, Oil, Temperature, Filter, Pressure)</li> <li>- Automatic locking devise to limit the oil temperature</li> <li>- Reset, Remote, Power meter function</li> <li>- Independent performance.</li> </ul>
Cooling system	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cooling type</li> <li>- Power source : 380 or 220 V, 3P</li> <li>- Distance between main frame and cooling fan : max 20 m</li> <li>- Antifreezing liquid.</li> <li>- Cooling fan.</li> </ul>
Mechanical	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Safety Surveillance devise for both equipment and operator.</li> <li>- System that notifies operator of abnormality of equipment.</li> </ul>
Safety equipment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- EMG that stops equipment instantly in case of emergency.</li> <li>- Devise that controls Temperature overheating.</li> <li>- Blinker light (with Alarm function)</li> </ul>

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL

18

**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

### INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

#### Historia

■ **Roller rig BU 300:** Proyecto denominado Hiperwheel, resultado de una cooperación entre Lucchini CRS y la Politécnica de Milán en 2002, con las posibilidades de estudiar el comportamiento de un vehículo a escala 1:1 en línea recta y curva.

Posee dos actuadores hidráulicos colocados verticalmente sobre la viga transversal: uno impone la fuerza vertical sobre la rueda y el otro aplica una fuerza lateral con un máximo de 150 kn sobre la viga.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS**

Historia

■ **Banco de pruebas dinámico de bogies DTR-25:**  
Presentado en Berlín, en la pasada feria INNOTRANS de Septiembre de 2012, ha sido creado por el grupo Danobat (cooperativa de Dano-rail de origen vasco) con la especial colaboración de SKF.

Este dispositivo, con el tren inmovilizado en el taller, simula su marcha del tren en vía a velocidades de superiores a 100 km/h, evitando así realizar mediciones con el tren circulando por la vía. Proporciona así, un ahorro de tiempo considerable y la posibilidad de diagnosticar el estado de componentes optimizando el mantenimiento del tren. Sus características son:

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL




**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS**

Historia

ITEM	Unidades	DTR-25
<b>CAPACIDADES</b>		
Dimensiones Máquina Longitud x Anchura x Altura (dependiendo de la configuración)	mm	7500 x 4000 x 2000
Dimensiones máximas bogie . Longitud x Anchura x Altura	mm	5000 x 3000 x 1200
Peso máximo eje (en configuración estándar)	Tn	25
Número ejes		2
Empate ejes	mm	1600 - 3300
Ancho vía	mm	1000 - 1435 - 1668
Carga aplicable al bogie (opcional en caso de ensayo bajo carga)	kN	2 x 300
Velocidad giro grupos tracción	Km/h	0 - 100
Potencia grupos tracción rodillos	kW	4 x 22
Número canales simultáneos ensayos dinámicos		16
Frecuencia adquisición ensayos dinámicos	KHz	20
Recogida de datos y análisis		SKF – IMx personalizado

El sistema de adquisición de datos viene integrado en el Banco de Pruebas Dinámico de Bogies y es configurable de forma que permite modificar las medidas de las variables que el usuario considere más interesantes.

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL




Página | 204

## BANCO DE ENSAYOS

[Inicio](#)

- ▶ INTRODUCCION
- ▶ DESCRIPCION
- ▶ VISTAS 3D
- ▶ ANIMACIONES



### INTRODUCCIÓN AL BANCO DE ENSAYOS

#### Historia

Hay que mencionar que el grupo DANOBAT también cuenta con un modelo de Torno de Fosos que realiza operaciones específicas para el mantenimiento correctivo de rodaduras y discos de freno ferroviarios sin necesidad de desmontar los ejes del tren, concebido para regenerar los perfiles de las ruedas sometidas a desgaste y deformación que impone la circulación rueda-rail.

Varios tornos de fosos son utilizados para garantizar la seguridad de los madrileños que a diario utilizan el Metro como medio de transporte, realizando el mantenimiento de los vehículos por la noche cuando las estaciones cierran.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



## BANCO DE ENSAYOS

[Inicio](#)

- ▶ INTRODUCCION
- ▶ DESCRIPCION
- ▶ VISTAS 3D
- ▶ ANIMACIONES



### DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS

Pulse para acceder al "MENÚ SISTEMAS"

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL





[Inicio](#)  
▶ INTRODUCCION  
▶ DESCRIPCION  
▶ VISTAS 3D  
▶ ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS



### DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS

#### SISTEMA DE SUSTENTACIÓN: BANCADA

Una **bancada** formada por 3 grandes vigas y una pesada plancha de acero, con la finalidad de soportar todo el peso y vibraciones del banco, el cual se mantiene sobre ella, además de una pequeña subestructura soporte del motor. Esta bancada es independiente de la carcasa, posee sus propias patas con amortiguación. Junto a ella se sitúan los displays que nos informan sobre la carga aplicada con cada célula de carga.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



[Inicio](#)  
▶ INTRODUCCION  
▶ DESCRIPCION  
▶ VISTAS 3D  
▶ ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS



### DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS

#### SISTEMA DE SUSTENTACIÓN: BANCADA

Para soportar el peso del banco, la bancada posee una plancha de acero ST52, de espesor 18mm y 140kg de peso. Esta plancha está unida a 3 grandes vigas de aluminio de 80x80mm, mediante tornillos con cabeza de martillo. A su vez, las vigas poseen en cada extremo 2 patas con amortiguación y sus correspondientes tapas embellecedoras.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL





**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**  
**SISTEMA DE SUSTENTACIÓN: BANCADA**

La construcción de esta bancada esta basada en 2 grupos de uniones principales: vigas-plancha y patas-vigas. La primera unión se realiza con tornillos de cabeza de martillo que encajan en la ranura de 10mm del perfil y la segunda mediante un husillo que se introduce en un taladro practicado para ello.





BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL




**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**  
**SISTEMA DE SUSTENTACIÓN: BANCADA**

La unión mas importante, se produce entre el banco y la bancada, vinculando ambos elementos mediante tornillos con cabeza de martillo, que encajan en la ranura de los perfiles, y sus correspondientes tuercas. En total 8 tornillos forman esta unión, situados 2 en cada extremo de las grandes vigas que soportan el banco.




BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL




**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

MENÚ SISTEMAS



SISTEMA DE PROTECCIÓN

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



8

**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS

SISTEMA DE PROTECCIÓN: CARCASA

Una jaula o **carcasa** protectora para garantizar la seguridad del usuario, formada por unas finas láminas de copoliéster ,dispuestas en forma de cubo, en todas sus caras excepto inferiormente, espacio donde va situada la bancada. Estas láminas están sujetas mediante unos pequeños elementos “variofix” a una estructura de perfiles de aluminio que forman las aristas del cubo, sostenida sobre unas patas con amortiguación. En una arista de la carcasa y anclado a ella mediante una pequeña subestructura , orientada hacia el exterior y para facilitar su manejo, encontramos el variador de frecuencia, que nos permite regular el funcionamiento del motor.

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL










**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**  
**SISTEMA DE PROTECCIÓN: CARCASA**

La carcasa es independiente, no va unida al resto del equipo, y posee sus propias patas con amortiguación apoyadas sobre el suelo. La estructura esta diseñada para tener una rigidez aceptable y una amortiguación óptima.




BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL




**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**  
**SISTEMA DE PROTECCIÓN: CARCASA**

Está compuesta por diferentes elementos de Bosch Rexroth, que completan y facilitan su funcionalidad, como pueden ser los siguientes:

Cerradura puerta carcasa




BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL




[Inicio](#)  
▶ INTRODUCCION  
▶ DESCRIPCION  
▶ VISTAS 3D  
▶ ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**  
SISTEMA DE PROTECCIÓN: CARCASA

Una pequeña pieza que se introduce en las ranuras de los perfiles y permite la fijación de las láminas de copoliéster, los variofix block.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



[Inicio](#)  
▶ INTRODUCCION  
▶ DESCRIPCION  
▶ VISTAS 3D  
▶ ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**  
SISTEMA DE PROTECCIÓN: CARCASA

La unión del marco de la puerta con la estructura de la carcasa, se realiza mediante bisagras, las cuales también permiten el giro.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL





Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**  
**SISTEMA DE PROTECCIÓN: CARCASA**

En cuanto a uniones, en los vértices inferiores usamos escuadras exteriores con tornillos de cabeza de martillo.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**  
**SISTEMA DE PROTECCIÓN: CARCASA**

En cuanto a uniones, en los vértices superiores se realizan mediante escuadras interiores (uniones muy sencillas sin tornillos).



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



[Inicio](#)  
▶ INTRODUCCION  
▶ DESCRIPCION  
▶ VISTAS 3D  
▶ ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**  
**SISTEMA DE PROTECCIÓN: CARCASA**  
Para los marcos de las puertas, las uniones elegidas han sido empalmadores de apriete rápido.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



[Inicio](#)  
▶ INTRODUCCION  
▶ DESCRIPCION  
▶ VISTAS 3D  
▶ ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**MENÚ SISTEMAS**



**SISTEMA DE ENSAYO**

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**

**SISTEMA DE ENSAYO: BANCO**

El **banco**, parte principal, con una estructura similar a la de un cubo compuesta también por perfiles de aluminio. En él encontramos un dispositivo de carga con un tornillo sin fin unido a una célula de carga que ejerce fuerza sobre un taco de presión situado en el pórtico en el que se alojan los soportes del eje. Estos pórticos, uno en cada extremo del eje, tienen movimiento gracias a unas guías lineales, para poder introducir y sacar el eje a la par que transmitir las vibraciones, ya que sobre ellos se sitúan los acelerómetros que permiten registrar la señal de las vibraciones. El eje gira sobre 4 rodillos, 3 locos y uno motriz, perfectamente sujetos mediante soportes anclados a la base del banco. El movimiento se transmite desde el motor al rodillo motriz mediante una correa dentada de caucho y 2 poleas, una en el rodillo y otra en el propio eje del motor.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL




**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**

**SISTEMA DE ENSAYO: BANCO**

El esqueleto del banco, el cual mantiene los demás órganos, como pueden ser el subsistema motor, de carga, de transmisión o parte del de medida, consta de perfiles de distintas dimensiones, partiendo de los 2 principales de 80x80mm, a partir de los cuales se eleva la estructura. Esta estructura desnuda, sin ningún otro subsistema, podemos conseguirla con unos pasos sencillos que a continuación se muestran:



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



## BANCO DE ENSAYOS

**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**

SISTEMA DE ENSAYO: BANCO

Paso 1



Paso 2



Paso 3



Paso 4



Paso 5



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



## BANCO DE ENSAYOS

**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**

SISTEMA DE ENSAYO: BANCO

Paso 1: Consiste en fijar los 2 perfiles de 80x80mm, que conforman la base del banco, a la bancada, mediante 4 tornillos con cabeza de martillo cada uno que encajan en la ranura de los perfiles y en unos taladros practicados en la plancha.

Paso 1







BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL





**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**  
**SISTEMA DE ENSAYO: BANCO**

Paso 2: Utilizando perfiles de 40x80mm, alzamos 4 columnas verticales desde las vigas fijadas anteriormente, utilizando como nexo de unión 2 uniones en T en cada columna.

Paso 2









BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**  
**SISTEMA DE ENSAYO: BANCO**

Paso 3: Mediante empalmadores de pernos, pondremos 4 vigas de dimensiones 40x80mm transversales a las 2 principales y colocaremos 2 perfiles de apriete de 200mm con un vástago de acero en cada columna.

Paso 3







BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



## BANCO DE ENSAYOS

**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**

**SISTEMA DE ENSAYO: BANCO**

Paso 4: en cada una de las vigas transversales colocadas recientemente, fijaremos 2 soportes de rodillos mediante tornillos en la disposición de la imagen.

Paso 4







BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



## BANCO DE ENSAYOS

**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**

**SISTEMA DE ENSAYO: BANCO**

Paso 5: Finalmente, cerraremos la estructura del banco, utilizando empalmadores de pernos para las uniones de los perfiles superiores.

Paso 5







BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL





**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**  
**SISTEMA DE ENSAYO: BANCO**

Una vez terminada la estructura principal, montamos el carrito que proporciona movimiento vertical al pórtico que contiene los soportes que sujetan el eje. El pórtico lo explicaremos en el subsistema de carga.





BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL





**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

**DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYOS**  
**SISTEMA DE ENSAYO: BANCO**

Este carrito tiene movimiento gracias a unos cojinetes de sustentación cuyo rodillo encaja en el vástago de acero del perfil de apriete, se colocan 2 a 2 de manera que cada carrito tendrá 4 cojinetes.




BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL













[Inicio](#)

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

### EL SUBSISTEMA MOTOR-

El motor es de inducción (asíncrono), de la marca Marathon Electric , modelo D395, capaz de alcanzar un régimen de 3600 rpm y con 1,49 kw de potencia. Funciona con 50 o 60 Hz, tiene 2 polos y su velocidad es regulada variando la frecuencia de giro.






BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL




[Inicio](#)

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

### EL SUBSISTEMA MOTOR

El variador de frecuencia es de la firma comercial Lence AC Tech, modelo SMV IP31, para una tensión de alimentación monofásica de 240v y una potencia de 0,75kw. Permite regular la velocidad del motor variando la frecuencia de salida, alcanzando hasta las 3600 rpm en el motor.






BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL




Página | 221

Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

### EL SUBSISTEMA MOTOR

El variador está sostenido por 2 pequeños perfiles de 30x30mm que sostienen una pequeña placa de acero ST37 en un vértice de la carcasa, para facilitar su manejo.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

### EL SUBSISTEMA MOTOR

A continuación podemos observar distintos explosionados de la subestructura del motor que nos ayudan a comprender mejor este subsistema, así como su posición y anclaje.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL







**BANCO DE ENSAYOS**

**EL SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN**

**950-5M-15**

Esta transmisión elástica está compuesta por una correa trapezoidal de la marca Gates, cuyas medidas son:



**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES




950.....Longitud

5M.....Distancia entre dientes "pitch"

15.....Ancho de la correa en mm

	Pitch mm	T mm	B mm
3M	3.0	1.17	2.41
5M	5.0	2.08	3.81
8M	8.0	3.40	5.60
14M	14.0	6.00	10.00
20M	20.0	8.40	13.20



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL

**BANCO DE ENSAYOS**

**EL SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN**

Como elementos de sujeción encontramos los cojinetes del eje y de los rodillos, ambos de la marca SKF modelo SY 30 TR y SYF 30 TF respectivamente, con un diámetro de 30mm que permiten encajar perfectamente el eje o los rodillos. En su interior poseen una hilera de rodamientos de bola que permiten su perfecto funcionamiento.



**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES








BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



[Inicio](#)  
► INTRODUCCION  
► DESCRIPCION  
► VISTAS 3D  
► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

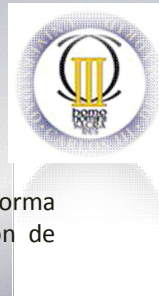
### EL SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN

Para lograr este subsistema de transmisión de forma exitosa, ha sido necesaria la siguiente disposición de elementos:



Las vigas transversales están unidas mediante 2 empalmadores de pernos cada una (lo veremos en breve en el vértice superior del banco)

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



[Inicio](#)  
► INTRODUCCION  
► DESCRIPCION  
► VISTAS 3D  
► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

### MENÚ SUBSISTEMAS



SUBSISTEMA DE CARGA

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL





# BANCO DE ENSAYOS

**EL SUBSISTEMA DE CARGA**

Formado básicamente por la célula de carga, el display y un pórtico diseñado para transmitir la carga al eje. Este pórtico está sostenido en unas guías lineales de forma que permite un movimiento vertical solidario al que ejerza la célula de carga.

**► DESCRIPCION**

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL





# BANCO DE ENSAYOS

**EL SUBSISTEMA DE CARGA**

El sistema de actuación de carga sobre el eje se acciona mediante 2 husillos que actúan de forma radial. El control de la carga se realiza mediante 2 células de carga y su correspondiente visor, un display.

La regulación de la carga se efectúa girando el husillo hasta que alcancemos la deseada para el ensayo, indicada en el visor, con una salida para la transferencia de datos al ordenador.

**► DESCRIPCION**

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL





**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

### EL SUBSISTEMA DE CARGA

El eje está sujeto por 2 soportes, uno en cada extremo, de forma que la célula de carga, de la marca Senel modelo SX2 y una capacidad de hasta 500kg, actúa sobre el pórtico que aloja estos cojinetes.

Los soportes se encuentran alojados en el pórtico de forma que soportan el eje sometido a la carga de la célula transmitida mediante el taco de presión.





BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL

**Inicio**

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

### EL SUBSISTEMA DE CARGA

Para hacer posible este subsistema, han sido necesarias las uniones descritas en las imágenes, teniendo en cuenta la unión en T que forma el pórtico y las escuadras exteriores (similares a la de la subestructura del subsistema motor) que lo unirán al carrito que le permitirá un movimiento vertical mediante una guía lineal.





BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL





Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

# BANCO DE ENSAYOS

SUBSISTEMA DE MEDIDA

Este acelerómetro es triaxial de tipo piezoeléctrico, para la correcta medición de las vibraciones, ya que presentan una menor sensibilidad a las interferencias electromagnéticas. Están situados encima del taco de presión de cada pórtico y son de la marca brüel&kjaer, modelo 4321, con un peso de 55g y sus características son las siguientes:

	X	Y	Z
Sensibilidad de referencia	0.983 pc/ms <sup>-2</sup>	0.983 pc/ms <sup>-2</sup>	0.975 pc/ms <sup>-2</sup>
Sensibilidad transversal	<5%	<5%	<5%
Frecuencia de resonancia	37.8 KHz	36.6 KHz	40.4 KHz
Frecuencia de resonancia transversal	14 KHz	14 KHz	14 KHz
Rango de frecuencias	0.1 Hz a 12 KHz	0.1 Hz a 12 KHz	0.1 Hz a 12 KHz

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL

Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

# BANCO DE ENSAYOS

SUBSISTEMA DE MEDIDA

El encargado de amplificar la señal captada por el acelerómetro, es del tipo multicanal de la marca Nexus, modelo B&K 2693 y cuyas características son las siguientes:

- Posee 4 canales
- La curva para aceleración es lineal desde una frecuencia próxima a 0.1Hz hasta 140khz.
- Dispone de un “display” de barras, para ver la magnitud de la vibración con un mejor ajuste de escala.
- Permite la opción de compensar la longitud del cable.

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

### SUBSISTEMA DE MEDIDA

Para medir las vibraciones utilizamos una tarjeta digitalizadora multicanal que se encarga de transformar las señales analógicas en señales digitales o discretas. El rango de frecuencias del sistema de adquisición de datos es 0.1Hz-1Mhz. El paquete informático de adquisición de datos consta de:

- Tarjeta DAS-1200 Series Board, de la marca Keithley, de 8 canales.
- Caja de conexiones multicanal STP-37.
- Bus Keithley que permite la unión de la tarjeta con la computadora.



BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► ANIMACIONES

## BANCO DE ENSAYOS

### SUBSISTEMA DE MEDIDA

Todos los elementos nombrados anteriormente, se conectan de la siguiente manera para conformar el subsistema de medida.

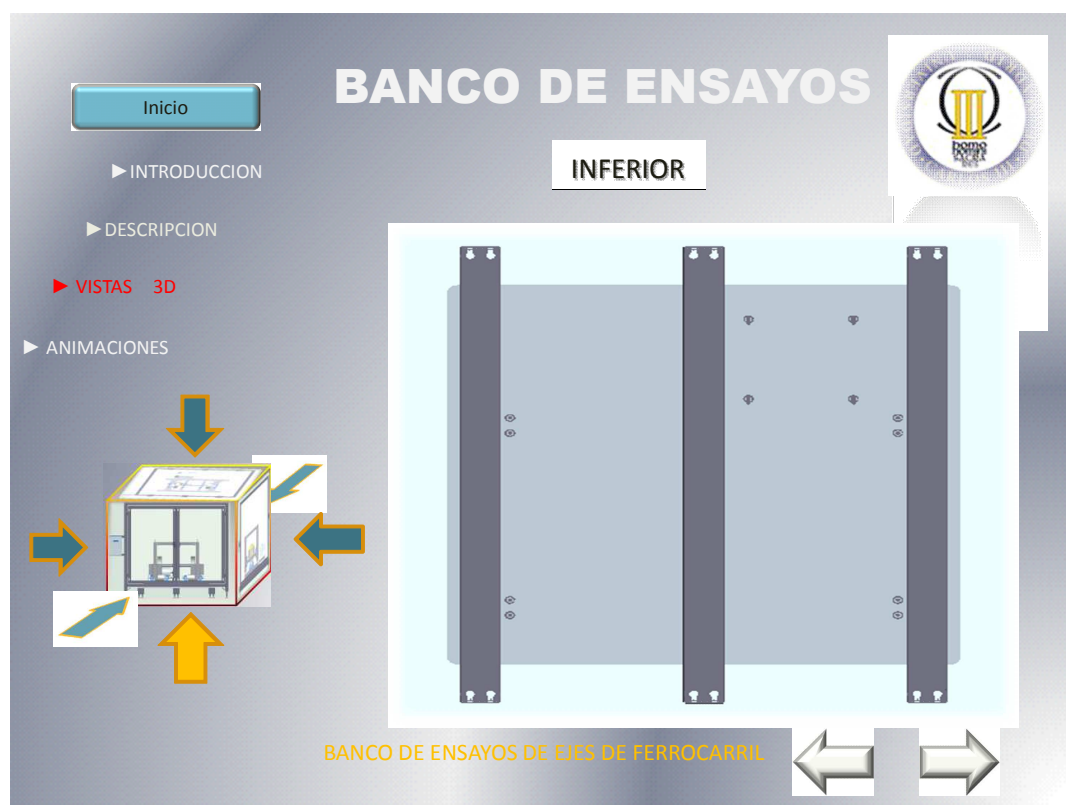
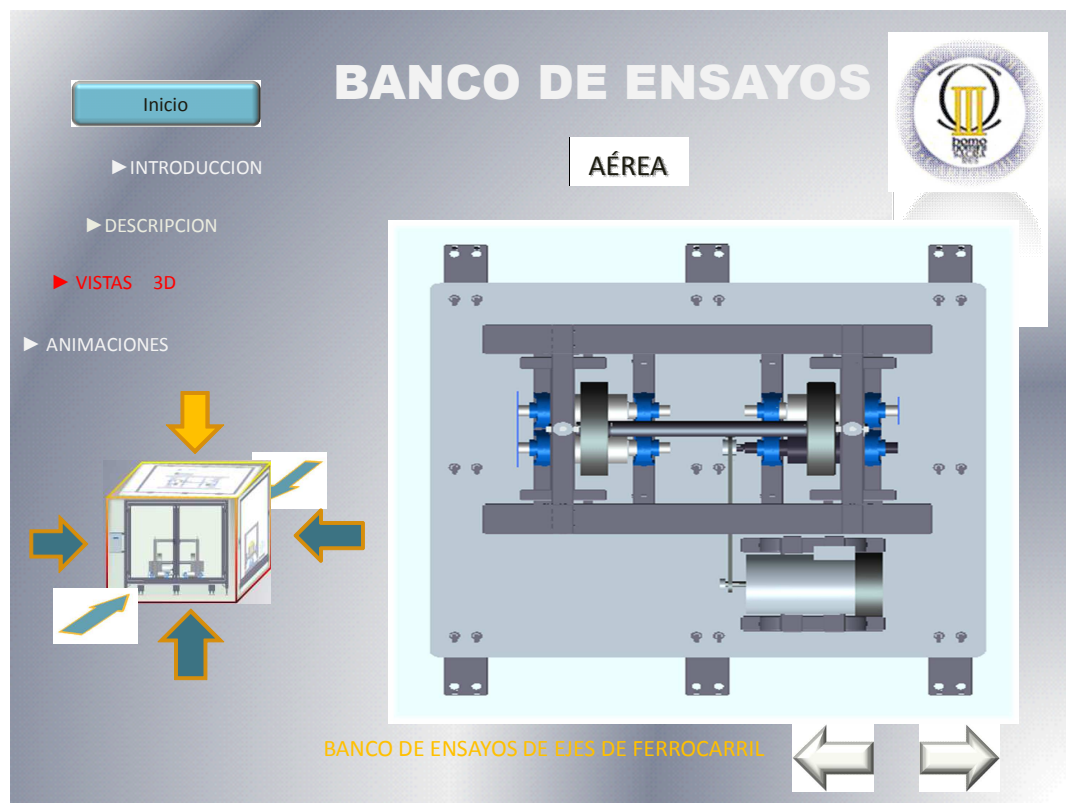


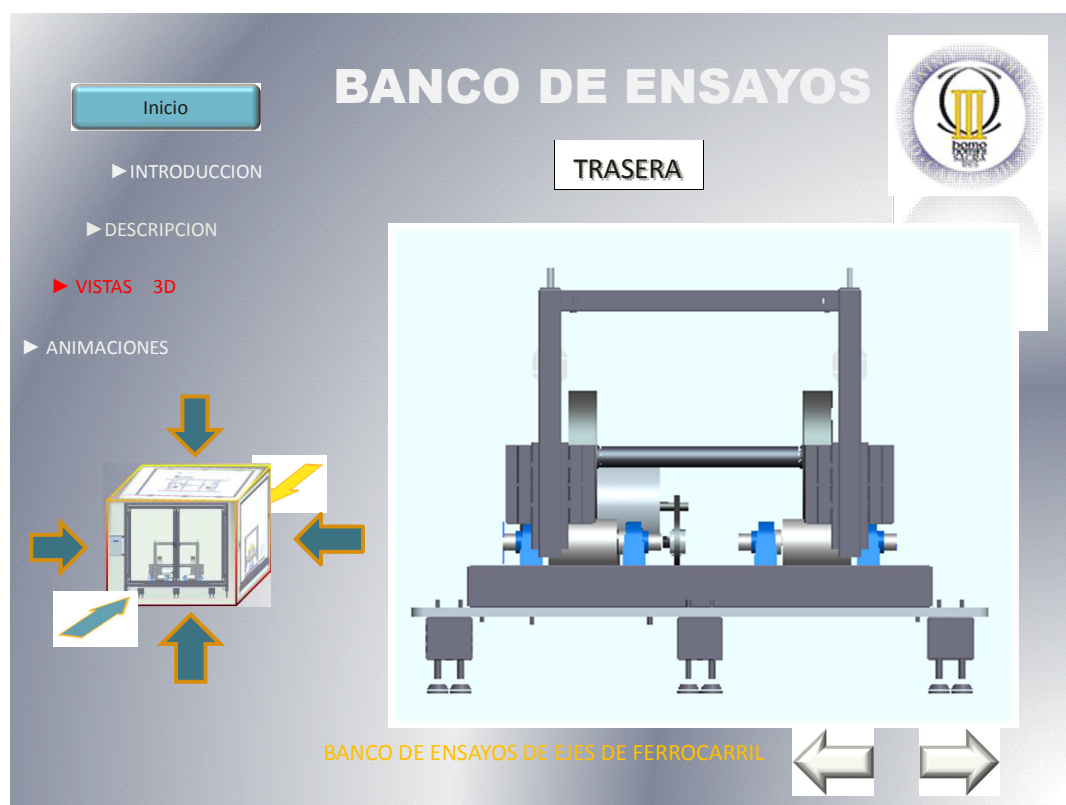
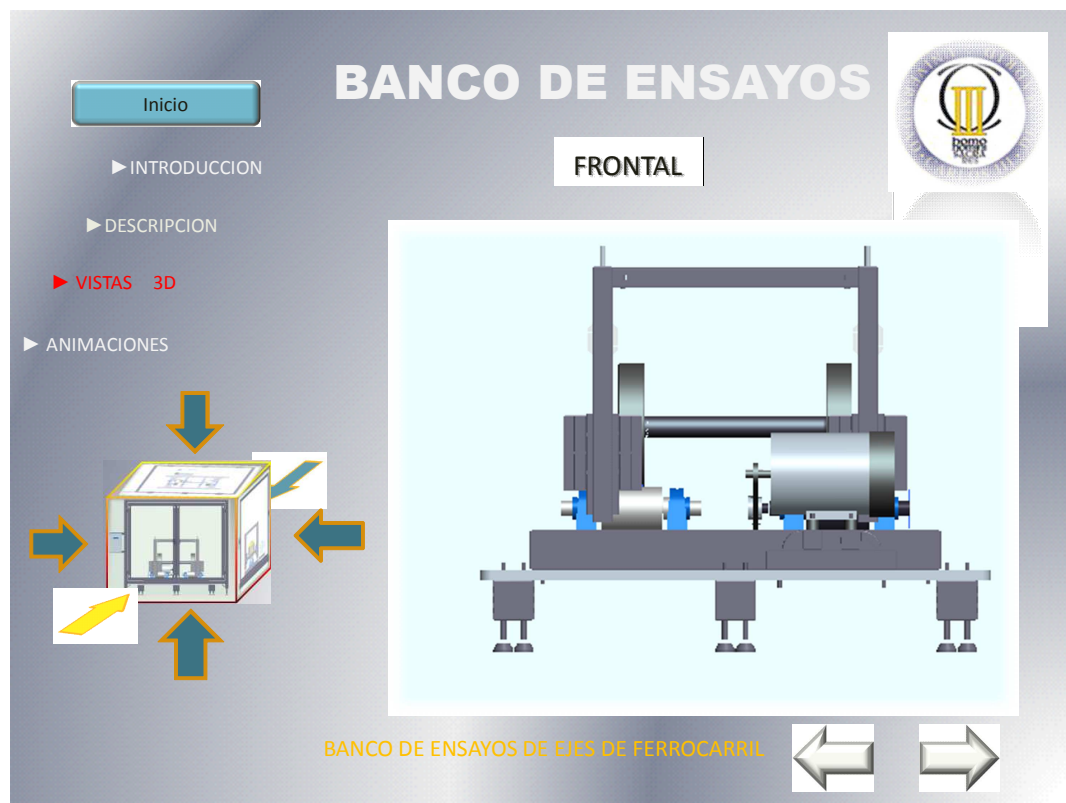
BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



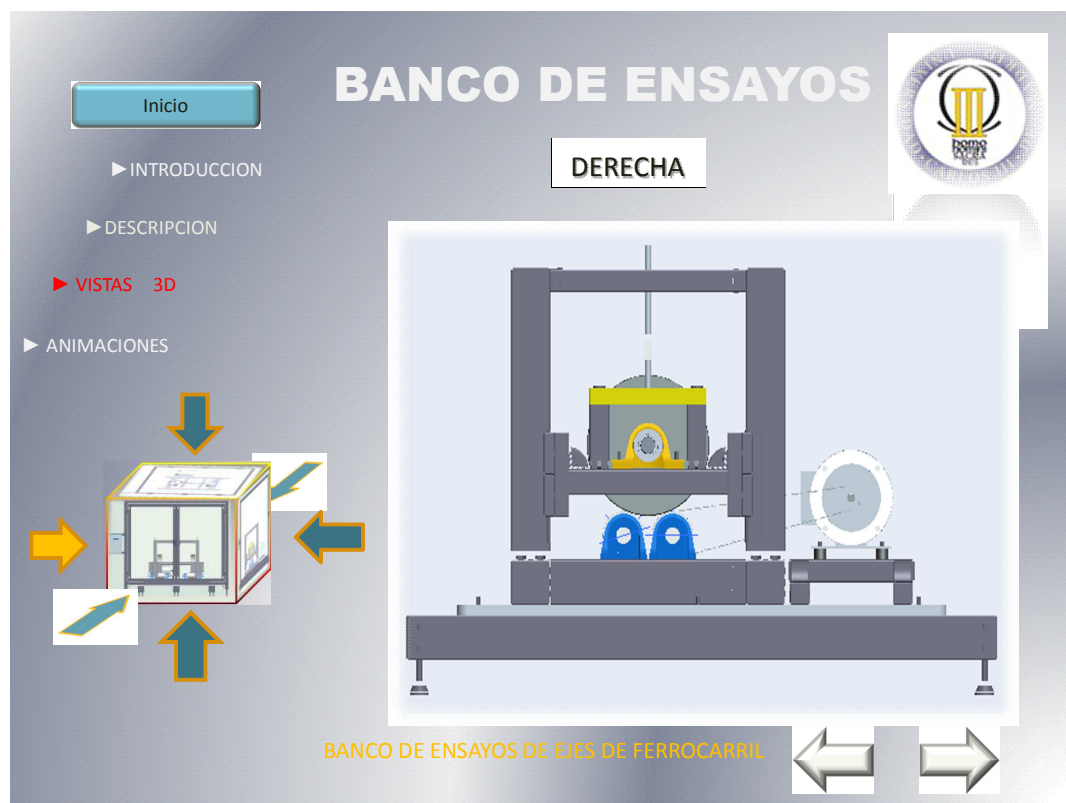
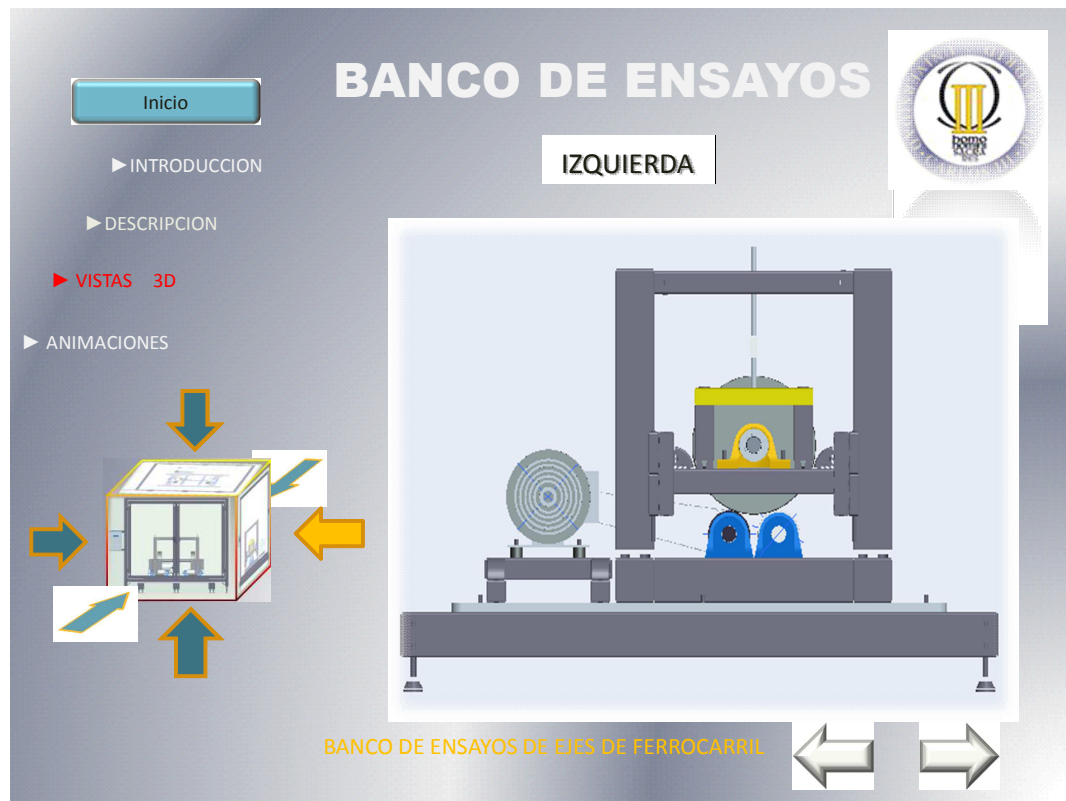












Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► **ANIMACIONES**

## BANCO DE ENSAYOS



Explosión carcasa-bancada banco



Explosionado bancada



Explosionado banco



Explosionado carcasa

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL



Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► **ANIMACIONES**

## BANCO DE ENSAYOS



Montaje del subsistema de carga



Desmontaje del subsistema de carga



Explosionado del marco de la puerta



Explosionado variador

BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL





**BANCO DE ENSAYOS**

**ANIMACIONES (3/3)**

- Explosionado del sist. motor
- Simulación de funcionamiento
- Video real del banco en funcionamiento

**BANCO DE ENSAYOS DE EJES DE FERROCARRIL**



Inicio

► INTRODUCCION

► DESCRIPCION

► VISTAS 3D

► **ANIMACIONES**

